



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

APLICACIÓN PARA SEGURIDAD VIAL EN VEHÍCULO INTELIGENTE

AUTOR: JAIME ÁLVAREZ PÉREZ

TUTOR: FERNANDO GARCÍA FERNÁNDEZ

Leganés, junio de 2013





Agradecimientos

A mi familia.





Índice general

Capítulo 1. Introducción	10
Capítulo 2. Estado del arte	15
2.1. Introducción	16
2.2. Sistemas de asistencia convencionales	16
2.2.1. Sistema antibloqueo de frenos (ABS)	16
2.2.2. Sistema de distribución electrónica de frenada (EBD)	16
2.2.3. Sistema de control de tracción (ASR)	17
2.2.4. Control electrónico de estabilidad (ESP)	17
2.2.5. Sistema electrónico de asistencia a la frenada de emergencia (BAS) 18	
2.3. Sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS)	18
2.3.1. Control de crucero adaptativo (ACC)	19
2.3.2. Sistema de alerta de cambio involuntario de carril (LDWS)	21
2.3.3. Sistema de detección de obstáculos en el ángulo muerto y asistencia para cambio de carril.....	22
2.3.4. Sistema de visión nocturna (NV)	23
2.3.5. Sistemas de detección de fatiga y somnolencia en el conductor	24
2.3.6. Sistema de detección de señales de tráfico (TSR).....	26
2.3.6. Sistema de asistencia en intersecciones.....	27
2.3.7. Sistema de detección de obstáculos.....	27
2.3.8. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS).....	28
2.3.9. Luces adaptativas y asistente de luces de carretera.....	29
2.3.10. Sistema de aparcamiento automático	29
2.3.11. Sistema de comunicación entre vehículos (V2V)	30
2.3.12. Sistema paneuropeo de llamada de emergencia en el vehículo (eCall)	32
Capítulo 3. Descripción de la arquitectura utilizada.....	33
3.1. Introducción	34
3.2. Vehículo de pruebas IVVI 2.0	34
3.3. Descripción del hardware utilizado.....	36
3.3.1. Telémetro láser	36
3.3.2. Sistema de visión estéreo	37
3.3.3. Sistema de adquisición y procesado de datos.....	38



3.3.4. Sistema de visualización	39
3.3.5. Sistema de alimentación	39
3.4. Descripción del software utilizado.....	39
3.4.1. Microsoft Visual C++ 2008.....	40
3.4.2. Librerías de tratamiento de imagen OpenCV 2.4.3.....	40
3.4.3. MATLAB	41
Capítulo 4. Sistema propuesto	42
4.1. Fases de desarrollo	43
4.2. Datos obtenidos por el telémetro láser	43
4.3. Imágenes capturadas por la cámara	44
4.4. Funcionamiento de la aplicación.....	45
4.4.1. Sincronización de imágenes y datos del telémetro láser	46
4.4.2. Procesado de los datos obtenidos por el telémetro láser	47
4.4.3. Procesado de las imágenes capturadas por la cámara	47
4.4.4. Presentación por pantalla y almacenamiento de los resultados obtenidos.....	48
Capítulo 5. Pruebas y resultados.....	50
5.1. Determinación de los valores de filtrado	51
5.1.1. Filtrado por dimensiones de la región de interés.....	51
5.1.2. Filtrado por distancia del vehículo al obstáculo.....	51
5.1.3. Filtrado por dimensiones del obstáculo.....	52
5.1.4. Resumen de los valores de filtrado.....	52
5.2. Determinación de los parámetros de la función de detección.....	52
5.2.1. Análisis del parámetro group_threshold.....	52
5.2.2. Análisis del parámetro hit_threshold.....	53
5.4. Resultados	55
Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros	56
6.1. Conclusiones	57
6.2. Trabajos futuros	57
Capítulo 7. Presupuesto	58
7.1. Introducción	59
7.2. Coste de material.....	59
7.3. Coste de personal	59



6.4. Presupuesto total	60
Capítulo 8. Bibliografía	61



Índice de figuras

FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LA LETALIDAD EN LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO CON VÍCTIMAS.....	11
FIGURA 2. FUNCIONAMIENTO DEL ESP	18
FIGURA 3. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL DE CRUCERO ADAPTATIVO	19
FIGURA 4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALERTA DE CAMBIO INVOLUNTARIO DE CARRIL	21
FIGURA 5. ÁREA MONITORIZADA POR EL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS EN EL ÁNGULO MUERTO	22
FIGURA 6. EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE OPEL	26
FIGURA 7. EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA V2V	31
FIGURA 8. IVVI 2.0 Y LOS DISPOSITIVOS INSTALADOS EN EL MISMO.....	35
FIGURA 9. TELÉMETRO LÁSER SICK LMS 291-S05 INSTALADO EN EL FRONTAL DEL IVVI 2.0.....	36
FIGURA 10. FUNCIONAMIENTO DEL TELÉMETRO LÁSER	37
FIGURA 11. CONVERTOR SERIE USB REDCOM.....	38
FIGURA 12. REGIÓN DE INTERÉS EN LA IMAGEN CAPTURADA POR LA CÁMARA	44
FIGURA 13. DIMENSIONES DEL OBSTÁCULO	44
FIGURA 14. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA APLICACIÓN	45
FIGURA 15. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO DE SINCRONIZACIÓN DE DATOS.....	46
FIGURA 16. POSICIÓN RELATIVA DEL PEATÓN DETECTADO.	47
FIGURA 17. VENTANA DE LA APLICACIÓN MOSTRANDO RESULTADOS DE UNA DETECCIÓN.	48
FIGURA 18. ANÁLISIS DEL PARÁMETRO GROUP_THRESHOLD.	53
FIGURA 19. ANÁLISIS DEL PARÁMETRO HIT_THRESHOLD.....	54



Índice de tablas

TABLA 1. TASAS DE ACCIDENTES Y VÍCTIMAS PRODUCIDOS DURANTE LOS ÚLTIMOS 18 AÑOS EN ESPAÑA.	12
TABLA 2. PEATONES VÍCTIMAS EN VÍAS URBANAS DURANTE LOS ÚLTIMOS 18 AÑOS.	13
TABLA 3. CONSUMO DE LOS DISPOSITIVOS INSTALADOS EN EL VEHÍCULO	39
TABLA 4. VALORES DE FILTRADO DE OBSTÁCULOS.....	52
TABLA 5. COSTE DEL MATERIAL UTILIZADO.....	59
TABLA 6. COSTE DEL PERSONAL INVOLUCRADO EN EL PROYECTO.	59
TABLA 7. COSTE TOTAL DEL PROYECTO.....	60



Capítulo 1. Introducción

El automóvil es considerado uno de los grandes inventos del siglo XX y se ha convertido en el medio de transporte por excelencia, siendo usado a diario por millones de personas. Por desgracia, también es la causa de miles de accidentes con víctimas cada año. Esto ha hecho que en las últimas décadas, el aumento de la seguridad, tanto activa como pasiva, se haya convertido en una prioridad con el fin de reducir el número de víctimas.

A continuación se muestran algunos datos del estudio que realiza la DGT anualmente en España sobre accidentes de circulación. En la figura 1 se puede observar cómo la introducción de nuevos sistemas de seguridad en los vehículos ha ayudado a reducir la letalidad, definida como la razón entre el número de fallecidos y el número de víctimas.

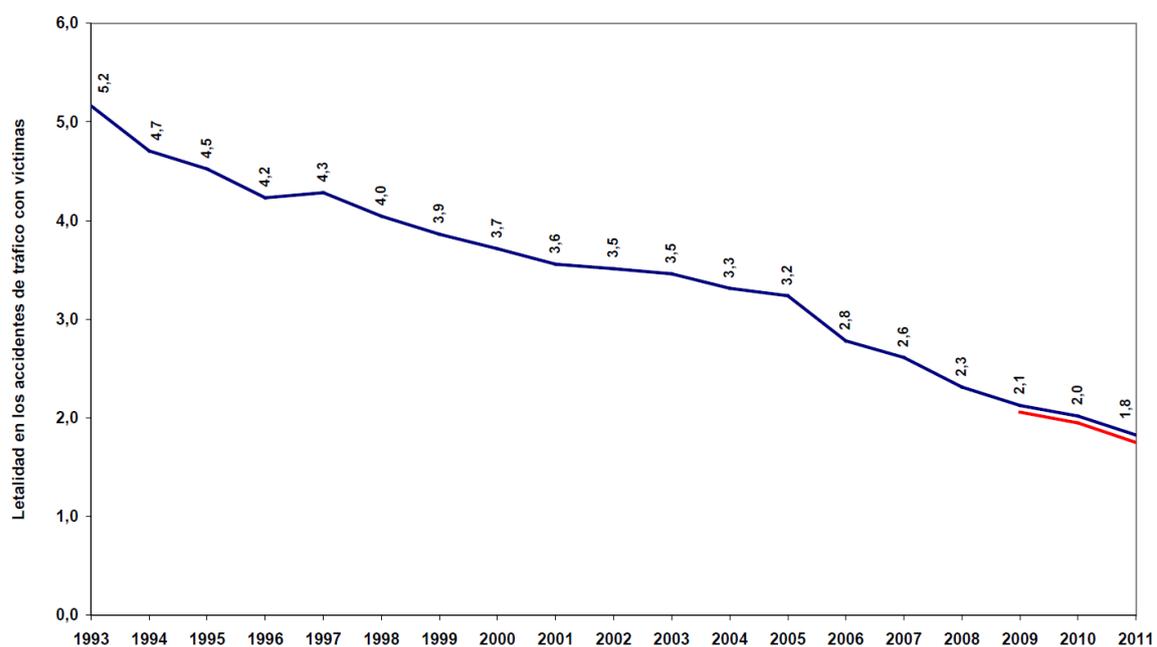


Figura 1. Evolución de la letalidad en los accidentes de tráfico con víctimas.

Como se puede observar en la tabla 1, el número de accidentes proporcionales al parque de vehículos en España ha disminuido significativamente y de forma constante año a año, al igual que el número de víctimas mortales en los accidentes.

Años	Parque de vehículos	Accidentes por 10.000 vehículos	Muertos por 10.000 vehículos	Muertos por cada 1.000 accidentes	Heridos por cada 1.000 accidentes	Muertos por cada 10.000 habitantes
1993	17.809.987	45	4	80	1.466	1,6263
1994	18.218.924	43	3	72	1.449	1,4286
1995	18.847.245	44	3	69	1.453	1,4603

1996	19.542.104	44	3	64	1.451	1,3892
1997	20.286.408	42	3	65	1.455	1,4162
1998	21.306.493	46	3	61	1.449	1,4996
1999	22.411.194	44	3	59	1.461	1,4359
2000	23.284.215	44	2	57	1.472	1,4305
2001	24.249.871	41	2	55	1.490	1,3467
2002	25.065.732	39	2	54	1.493	1,2834
2003	25.169.452	40	2	54	1.507	1,2750
2004	26.432.641	36	2	50	1.472	1,1016
2005	27.657.276	33	2	49	1.456	1,0217
2006	29.054.061	34	1	41	1.437	0,9331
2007	30.318.457	33	1	38	1.418	0,8637
2008	30.969.224	30	1	33	1.406	0,6846
2009	30.855.969	29	1	31	1.416	0,5901
2010	31.086.035	28	1	29	1.407	0,5388
2011	31.269.081	27	1	25	1.393	0,4463

Tabla 1. Tasas de accidentes y víctimas producidos durante los últimos 18 años en España.

Sin embargo, los peatones siempre suelen ser las víctimas que salen peor paradas y, de hecho, los atropellos son la primera causa de muerte por accidente de tráfico en la ciudad. De acuerdo con la DGT, los atropellos causan más del 40% de los muertos por accidente de tráfico en zona urbana y el 15% de los lesionados de forma invariable desde 2001. En el año 2010, el porcentaje de peatones muertos ha ascendido hasta el 50,5%, el más alto de los últimos años. En la tabla 2 se puede observar la evolución de los peatones que han sido víctimas de accidentes de circulación en vías urbanas durante los últimos 15 años. Nótese que en 2011 se ha utilizado una nueva metodología para el cálculo de fallecidos a 30 días.

Años	Total	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
1993	11.544	497	3.939	7.108
1994	11.765	487	3.846	7.432
1995	11.697	480	3.717	7.500
1996	11.842	456	3.489	7.897
1997	11.624	501	3.252	7.871

1998	11.798	503	2.995	8.300
1999	10.933	448	2.599	7.886
2000	11.410	447	2.485	8.478
2001	11.094	377	2.156	8.561
2002	11.056	343	2.141	8.572
2003	10.742	363	2.039	8.340
2004	10.518	343	2.136	8.039
2005	10.073	332	2.051	7.690
2006	10.214	296	1.919	7.999
2007	9.906	304	1.783	7.819
2008	9.822	266	1.634	7.922
2009	9.640	269	1.585	7.786
2010	9.705	278	1.586	7.841
2011	10.238	222	1.616	8.400

Tabla 2. Peatones víctimas en vías urbanas durante los últimos 18 años.

Evaluando esta tabla, se puede apreciar un descenso lento y con algún repunte en las víctimas mortales, aunque al mismo tiempo, el número total de víctimas ha vuelto a niveles de hace 5 años.

Por tanto, se puede afirmar que, en términos generales, el número de víctimas y accidentes se ha reducido a lo largo de los últimos años, demostrando la eficacia de los sistemas de seguridad implantados. Sin embargo, en el caso de los atropellos las cifras apenas han variado. Esto demuestra por un lado la eficacia de las medidas de seguridad introducidas hasta ahora, y por otro, la necesidad de continuar investigando y desarrollando nuevos y mejores sistemas que ayuden a reducir estas cifras al mínimo.

Para cubrir esa necesidad se realiza el presente proyecto, que consiste en el desarrollo de un sistema de detección de grupos de peatones basado en la fusión de los datos proporcionados por un telémetro láser y una cámara. Aunque por separado estos dispositivos tienen limitaciones en cuanto a la información proporcionada y la fiabilidad de la misma, cuando se combinan es posible obtener un sistema sensorial altamente fiable.

En particular este trabajo de fin de grado se centra en la detección de peatones en aquellos casos en los que se mueven suficientemente juntos como para ser reconocidos por el telémetro láser como un único obstáculo. Este caso de estudio se trata, por tanto, de un complemento o ampliación del sistema de detección de peatones desarrollado por mi tutor del proyecto.



Es esencial para un sistema de seguridad que no se produzcan retrasos y las detecciones se realicen de forma casi instantánea para poder transmitir la información al resto de sistemas del vehículo lo antes posible. Para conseguir esto es necesario, por un lado, un algoritmo optimizado y eficiente, y por otro, un filtrado selectivo de los datos recibidos. Con esto, se evitan iteraciones y procesados de imágenes totalmente inútiles, que incluso pueden dar lugar a falsas detecciones, y se alivia la carga del sistema.

Otro de los objetivos es lograr extraer la mayor información posible de las detecciones y de una forma fiable, de tal manera que esta pueda ser transmitida y aprovechada por el resto de sistemas del vehículo inteligente IVVI 2.0 en el que será integrado.



Capítulo 2. Estado del arte

2.1. Introducción

Desde la aparición del ABS, el primer sistema de asistencia al conductor, a comienzos de los años 70, la inclusión de elementos de seguridad en los vehículos se ha convertido en una prioridad para los fabricantes. Esto es motivado en parte por la creciente preocupación de los conductores por la seguridad vial, utilizándolo como elemento diferenciador y reclamo comercial. Otro motivo ha sido la presencia obligada de estos sistemas en los vehículos que los gobiernos van estableciendo cada cierto tiempo.

A continuación se describirán los sistemas de asistencia actuales, con especial atención a los conocidos como ADAS, ya que el sistema desarrollado iría clasificado dentro de este grupo y además es el sector donde más se está trabajando y más resultados se esperan en un corto plazo.

2.2. Sistemas de asistencia convencionales

2.2.1. Sistema antibloqueo de frenos (ABS)

El ABS es un sistema desarrollado inicialmente para aviones, aunque desde hace varias décadas se viene usando en automóviles también, con el fin de evitar que los neumáticos pierdan la adherencia con el suelo durante el proceso de frenado. En 2004 se convirtió en un equipo de serie obligatorio en todos los turismos fabricados en la Unión Europea.

El ABS funciona en conjunto con el sistema de frenado tradicional. Consiste en una bomba que se incorpora a los circuitos del líquido de freno y en unos detectores que controlan las revoluciones de las ruedas. Si en una frenada brusca una o varias ruedas reducen repentinamente sus revoluciones, el ABS lo detecta e interpreta que las ruedas están a punto de quedar bloqueadas sin que el vehículo se haya detenido. Para que esto no ocurra, los sensores envían una señal al Módulo de Control del sistema ABS, el cual reduce la presión realizada sobre los frenos, sin que intervenga en ello el conductor. El ABS permite que el conductor siga teniendo el control sobre la trayectoria del vehículo, con la consiguiente posibilidad de poder esquivar posibles obstáculos mediante el giro del volante de dirección.

2.2.2. Sistema de distribución electrónica de frenada (EBD)

La distribución electrónica de frenado consiste en que los sistemas antibloqueo de frenos de cuatro canales (uno por rueda) permiten adoptar una lógica de control que distribuye electrónicamente la fuerza de frenado entre el eje delantero y el eje trasero. Este reparto se utiliza para compensar el estado de carga del vehículo y la transferencia de masas que existe entre los dos ejes al frenar.

El EBD actúa antes de entrar en funcionamiento la secuencia del ABS que evita el bloqueo de las ruedas del eje trasero, al detectarse el bloqueo de alguna de ellas. Basa su actuación en el mantenimiento de la presión hidráulica en la pinza de dicha rueda, siendo innecesario que la bomba del modulador hidráulico entre en funcionamiento o se active la fase de aumento de presión sobre los frenos traseros. De esta forma desaparecen los ruidos de funcionamiento del sistema antibloqueo y el característico contragolpe en el pedal de freno.

2.2.3. Sistema de control de tracción (ASR)

El control de tracción es un sistema diseñado para prevenir la pérdida de adherencia de las ruedas y que estas patinen cuando el conductor se excede en la aceleración del vehículo o el firme está muy deslizante.

Mediante el uso de los mismos sensores y accionamientos que emplea el sistema ABS, se controla si en la aceleración una de las ruedas del eje motor del automóvil patina, es decir, gira a mayor velocidad de la que debería, y, en tal caso, el sistema actúa con el fin de reducir el par de giro y así recuperar la adherencia entre neumático y firme, realizando una (o más de una a la vez) de las siguientes acciones:

- retardar o suprimir la chispa a uno o más cilindros.
- reducir la inyección de combustible a uno o más cilindros.
- frenar la rueda que ha perdido adherencia.

Algunas situaciones comunes en las que puede llegar a actuar este sistema son las aceleraciones bruscas sobre firmes mojados y/o con grava, así como sobre caminos de tierra y en superficie helada. Sin embargo, en situaciones de acumulación de nieve virgen, barro o arena conviene desconectar el sistema, ya que en ese tipo de situaciones la única forma de que el vehículo avance es si las ruedas patinan.

2.2.4. Control electrónico de estabilidad (ESP)

El control de estabilidad es un elemento de seguridad activa del automóvil que actúa frenando individualmente las ruedas en situaciones de riesgo para evitar derrapes, tanto sobrevirajes como subvirajes. El control de estabilidad centraliza las funciones de los sistemas ABS, EBD y de control de tracción.

El sistema consta de una unidad de control electrónico, un grupo hidráulico y un conjunto de sensores: de ángulo de dirección, de velocidad de giro de rueda, y de ángulo de giro y velocidad transversal. Un microordenador controla las señales provenientes de los sensores del ESP para comprobar que la dirección que desea el conductor a través del volante se corresponde con la dirección real en la que se está moviendo el vehículo. Si estas no coinciden, el ESP realiza intervenciones selectivas en los frenos y en el par del motor, generando la fuerza contraria deseada para que el vehículo pueda reaccionar según las maniobras del conductor. Su funcionamiento se describe en la figura 2.



Figura 2. Funcionamiento del ESP

2.2.5. Sistema electrónico de asistencia a la frenada de emergencia (BAS)

El BAS es un sistema de seguridad que, combinado con el ABS se encarga de que la frenada sea lo más corta posible aprovechando toda la capacidad de frenado disponible ante cualquier emergencia. Este sistema, por un lado mide la velocidad con la que se suelta el pedal del acelerador y se pisa el freno, y por otro, calcula la presión utilizada en el sistema de frenado para interpretar si nos encontramos ante una frenada de emergencia. De esta manera, este dispositivo aumenta la presión de frenado consiguiendo reducir la distancia de frenada con la ayuda del conductor.

Los principales elementos que conforman este sistema son el sensor de velocidad o fuerza situado en el pedal del freno, la válvula que aumenta la presión en el circuito de frenos y la centralita electrónica que gestiona todo el sistema. Suele ir equipado junto a otros sistemas como el ABS o el EBD, con los que se complementa y funciona de manera sincronizada.

2.3. Sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS)

La asistencia al conductor busca incrementar la seguridad global (tanto activa como pasiva) y aumentar las capacidades de respuesta en la conducción. Los sistemas avanzados de asistencia a la conducción engloban una serie de sistemas con diferentes funcionalidades, como pueden ser: navegación, control de la velocidad, ayuda a la conducción, aparcamiento automático, aviso de colisiones, etc.

La implementación de estos sistemas en los vehículos es reciente, aunque en la actualidad son cada vez más los vehículos que los equipan. Se podría considerar que el primer sistema ADAS integrado en un vehículo de serie fue el control de crucero adaptativo (Adaptative Cruise Control) en 1995, y que fue incorporado en un vehículo para el mercado japonés. Este dispositivo consiste básicamente en controlar la velocidad del vehículo según la distancia de seguridad con el vehículo precedente. En Europa se podía ver por primera vez en 1999 en la Clase S de Mercedes-Benz. Estos primeros dispositivos se empezaron a instalar solamente en coches de gama alta y a precios elevados, pero se espera que en los próximos años la instalación tenga una crecida casi exponencial, ayudando a reducir los accidentes de tráfico y las consecuencias que estos provocan sobre las personas.

2.3.1. Control de crucero adaptativo (ACC)

Como ya se ha comentado anteriormente, el sistema fue diseñado en 1995, por el fabricante de vehículos Mitsubishi. El funcionamiento del Adaptive Cruise Control consiste en el control automático de la velocidad del vehículo, y dentro de ciertos límites, mantiene automáticamente la distancia correcta con respecto al vehículo precedente para evitar la colisión. El funcionamiento de este sistema se describe en la figura 3.

CONTROL DE CRUCERO ADAPTABLE (ACC)

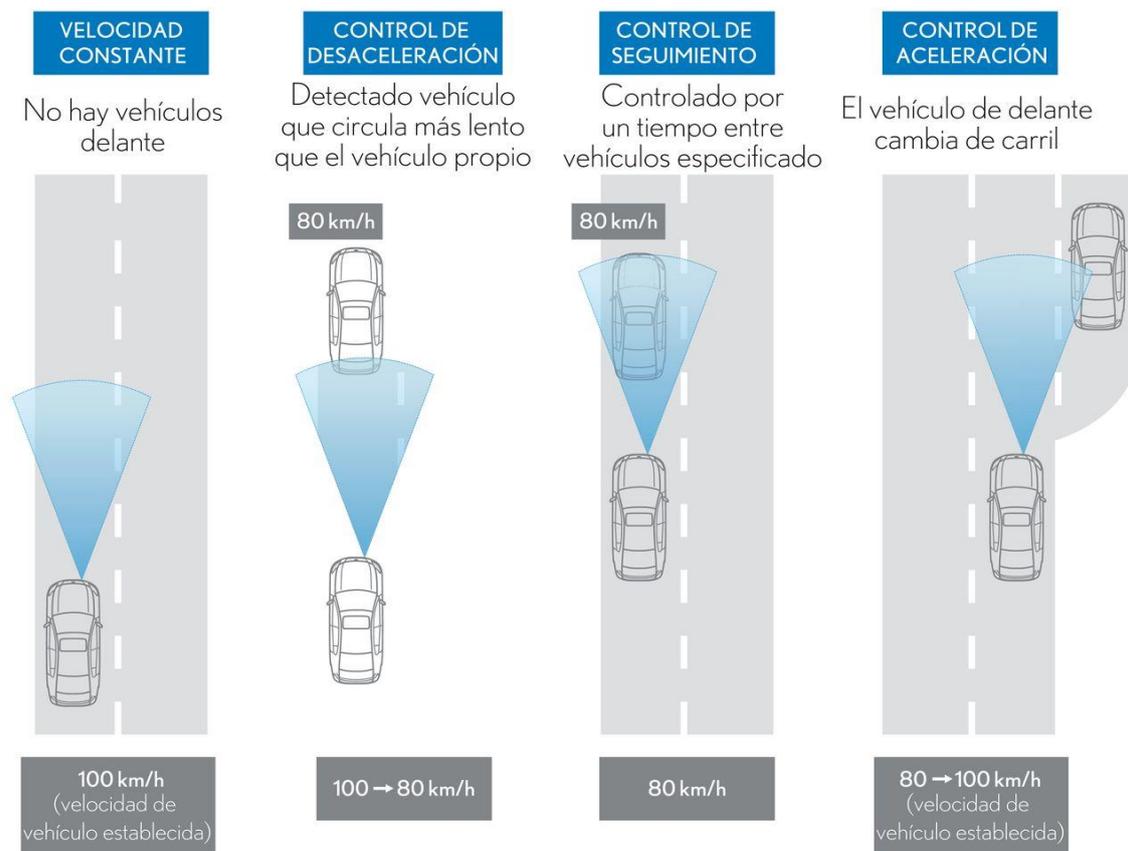


Figura 3. Funcionamiento del control de crucero adaptativo

El sistema utiliza una videocámara y un sensor láser para medir la distancia con respecto al vehículo precedente. Si la distancia es demasiado pequeña, el sistema reduce moderadamente la velocidad cortando el suministro de combustible o activando automáticamente los frenos, hasta aproximadamente un 25% de la deceleración máxima del vehículo. Una vez despejada la carretera, vuelve a acelerar al automóvil hasta la velocidad previamente ajustada. Si el proceso de frenado no decelera el vehículo en la medida suficiente, se emite inmediatamente una señal acústica para conminar al conductor a intervenir manualmente o prepararse para la colisión.

Cada fabricante de vehículos tiene configurada su propia peculiaridad de funcionamiento para la dinámica de marcha, como por ejemplo que el usuario pueda escoger entre cuatro programas: Distancia 1 (deportivo), Distancia 2 y 3 (estándar) y Distancia 4 (confortable). El programa Distancia 1 mantiene una distancia corta con respecto al vehículo precedente y en cuanto se despeja la carretera vuelve a acelerar rápidamente hasta la velocidad de cruceo ajustada. Los programas Distancia 2 y Distancia 3 permiten al vehículo seguir ágilmente el flujo del tráfico. El programa Distancia 4 se utiliza en caminos vecinales y cuando se arrastra un remolque. Aunque esté activado el adaptive cruise control, el conductor sigue siendo responsable de controlar la velocidad de su vehículo y la distancia con respecto al vehículo precedente. Este sistema no reacciona a objetos fijos ni a vehículos que circulan en sentido contrario, y se puede conectar o desconectar cuando se desee.

El funcionamiento técnico de este sistema se basa en la fusión de datos de dos dispositivos, un láser y una videocámara. El láser detecta la distancia del obstáculo con un alcance máximo de 130 metros, y se complementa con la visión por computador con una videocámara capaz de diferenciar los obstáculos a aproximadamente 50 metros, distancia variable según las condiciones meteorológicas. Con este sistema de fusión se consigue una eficiencia óptima y un rechazo a falsos obstáculos como pudieran ser coches en el carril contrario, o vehículos aparcados. También existen otros tipos de funcionamiento solamente con el dispositivo láser, pero no son tan fiables al depender del reflejo del láser, y este poder variar por ejemplo según las condiciones meteorológicas como la niebla.

El sistema ha ido mejorando con el paso del tiempo, ya que en un principio solo estaba diseñado para una gama de velocidades limitada, o cuando detectaba la posible colisión con el vehículo precedente usaba todo el potencial de frenado hasta detener el vehículo. En sus inicios tampoco estaba recomendado su uso en carreteras sinuosas, ni con condiciones climatológicas adversas como pudiera ser niebla o lluvia intensa. Incluso en la actualidad en alguna ocasión puede tener sus limitaciones por este hecho. También se ha mejorado la velocidad de respuesta del sistema, entre otras, por el hecho de detectar el encendido de las luces de freno del vehículo precedente.

2.3.2. Sistema de alerta de cambio involuntario de carril (LDWS)

Este sistema que alerta al conductor si abandona el carril por el que circula sin conectar antes los intermitentes, lo que se toma por una distracción. Se compone de un sistema capaz de detectar las líneas del carril por el cual se está circulando, una centralita electrónica y un sistema de aviso al conductor.

La detección de las líneas de carril puede realizarse mediante una serie de sensores de infrarrojos instalados en la parte inferior del vehículo, que utilizan la luz reflejada por las líneas de la calzada para detectar si el vehículo circula sobre éstas. En ese caso, si el conductor no ha activado los intermitentes, una centralita electrónica interpreta que se está abandonando involuntariamente el carril y alerta al conductor mediante diversos métodos: en unos casos hace vibrar el asiento, en otros el volante y en otros emite avisos sonoros y luminosos. El funcionamiento de este sistema se explica de forma gráfica en la figura 4.

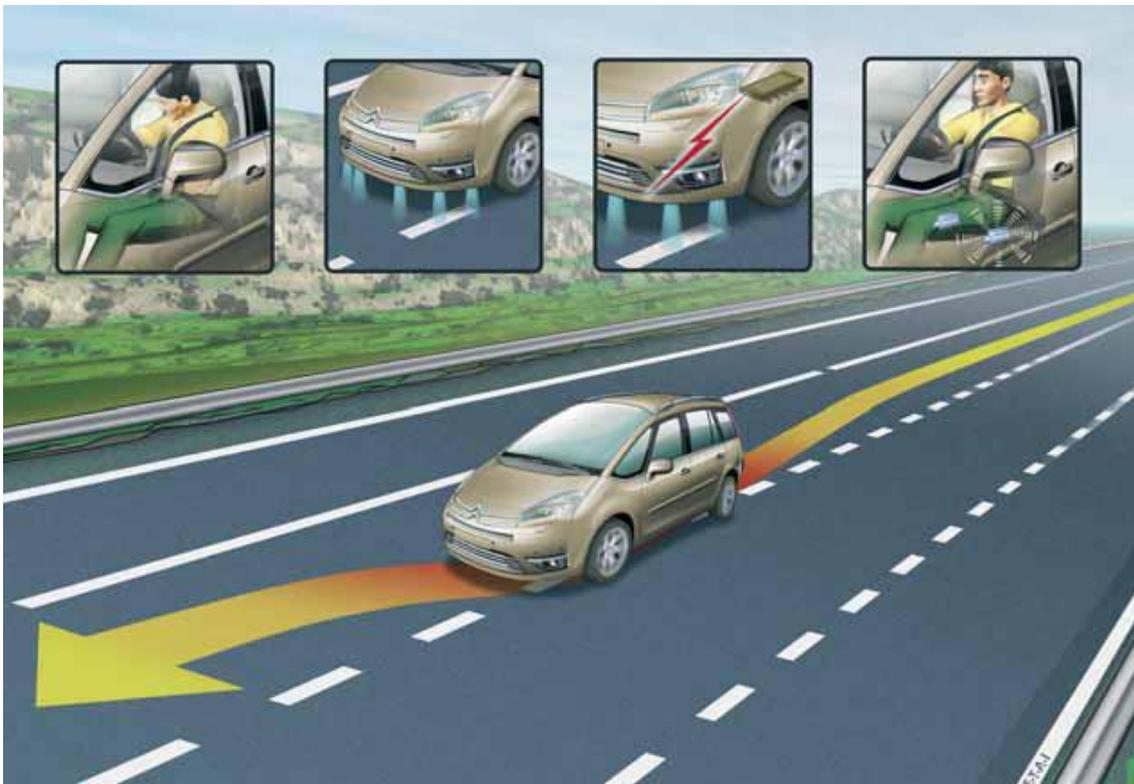


Figura 4. Funcionamiento del sistema de alerta de cambio involuntario de carril

Otra forma de detectar las líneas que delimitan un carril consiste en el análisis de las imágenes provenientes de una cámara (instalada generalmente en el pie del espejo retrovisor interior). Este sistema presenta como ventaja fundamental la posibilidad de reaccionar ante una trayectoria conocida, pudiendo predecir la salida de carril antes de que ésta se produzca. Además, es un sistema que no genera falsas alarmas ante otras líneas, como son flechas pintadas en la calzada. Su funcionamiento en casos de visibilidad reducida es peor.

En todo caso, el sistema funciona únicamente a partir de una cierta velocidad (60 – 80 km/h es lo más habitual) y es desconectable. Asimismo, al activar el intermitente correspondiente, se interpreta que el conductor realmente desea realizar la maniobra de abandonar el carril por el que se circula y, por lo tanto, éste no es alertado.

Sus denominaciones comerciales son LDW (Lane Departure Warning) o AFIL (Alerte de Franchissement Involontaire de Ligne) en el caso de Citroën. Existe una evolución del sistema denominada LKAS (Lane Keeping Assistance System) en el cual se induce un par de giro a una dirección asistida eléctrica para indicar al conductor en qué sentido debe girar para mantenerse dentro de las marcas que delimitan el carril.

2.3.3. Sistema de detección de obstáculos en el ángulo muerto y asistencia para cambio de carril

El sistema de detección de ángulos muertos es un sistema desarrollado con el objeto de evitar aquellos accidentes producidos por la presencia de un vehículo junto al lateral de otro que realiza una maniobra de cambio de carril o giro, situado fuera del alcance visual de sus espejos retrovisores.

Si el sistema sólo cubre la función de detección de ángulos muertos, el área que se monitoriza o vigila suele estar en un entorno de 4 metros a un lado del vehículo y aproximadamente 10 metros por detrás, de acuerdo con la figura 5. Cuando el rango de detección del sistema pasa a ser de varias decenas de metros por detrás del vehículo y además su unidad de control es capaz de calcular la velocidad a la que un vehículo se nos está acercando por el carril adyacente, el sistema de detección de ángulos muertos pasa a ser un sistema más avanzado, conocido como sistema de asistencia para cambios de carril.

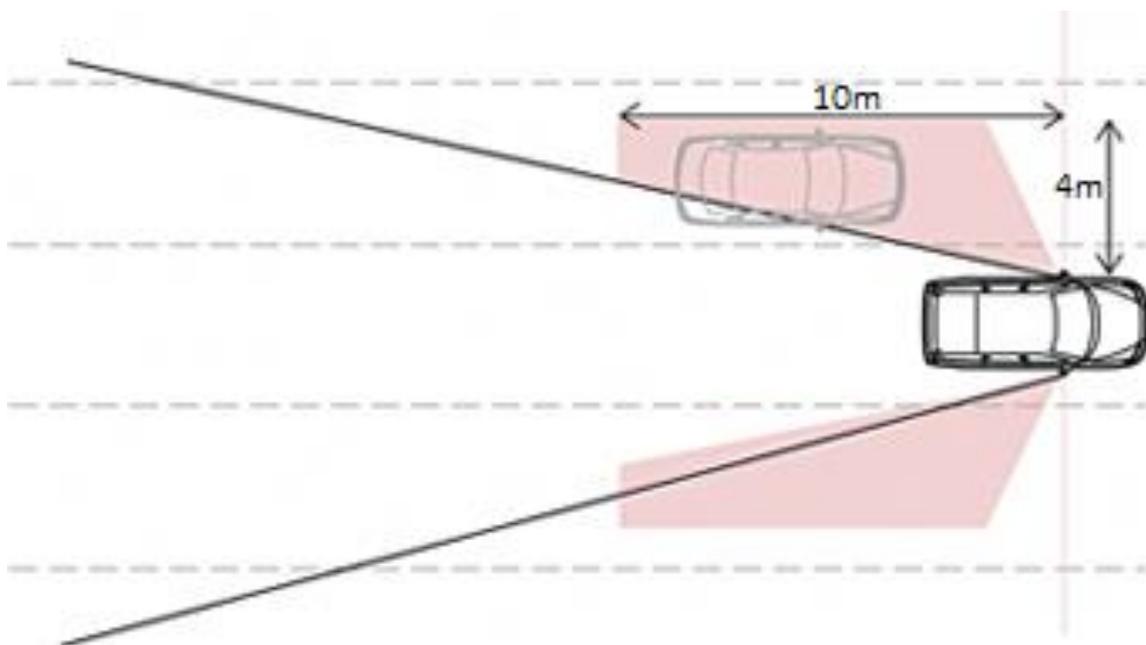


Figura 5. Área monitorizada por el sistema de detección de obstáculos en el ángulo muerto

Estos sistemas comienzan a actuar por encima de una determinada velocidad (que puede variar dependiendo del fabricante) y permiten ser conectados o desconectados a voluntad del conductor mediante el correspondiente botón en la consola del vehículo. Normalmente estos sistemas tienen dos niveles de actuación, uno de información y otro de alerta. En el primero de ellos, el sistema informa al conductor de la presencia de un vehículo circulando por detrás y por un lateral del vehículo. La forma en que ésta información se presenta es usualmente mediante una señal luminosa, bien en el propio espejo retrovisor del lado en el que se ha detectado o bien en una zona próxima al mismo.

Si además el conductor del vehículo que dispone del sistema de detección de ángulos muertos o de asistencia al cambio de carril manifiesta una posible intención de desplazamiento hacia el lado donde se ha detectado otro vehículo (accionando por ejemplo el intermitente correspondiente), el sistema pasa a un segundo nivel de alerta, donde la señal visual anterior cambia (por ejemplo de intermitente a fija o al contrario) y además se produce un aviso acústico.

La gran mayoría de los sistemas de detección de ángulos muertos y asistencia al cambio de carril que actualmente existen en el mercado utilizan sensores de radar (con alcances que pueden llegar hasta los 60 metros por detrás del vehículo que lo lleva instalado) para la detección de vehículos en los laterales. Sin embargo existen otros sistemas que utilizan cámaras situadas en la base de los propios espejos retrovisores para realizar esta función.

2.3.4. Sistema de visión nocturna (NV)

Un sistema de visión nocturna aprovecha la emisión infrarroja, invisible al ojo humano, para captar imágenes que puede que no se perciban con la luz visible de los faros. Las imágenes que captan los sensores de luz infrarroja se ofrecen al conductor en una pantalla.

Existen dos sistemas de visión nocturna basados en emisión infrarroja: los denominados pasivos o térmicos, que captan emisión en el infrarrojo lejano (FIR, Far InfraRed), y los sistemas activos, que aprovechan el infrarrojo cercano (NIR, Near InfraRed).

Los sistemas de visión nocturna pasivos aprovechan la emisión espontánea de radiación infrarroja de todos los cuerpos al estar a una cierta temperatura. Esta emisión (con una longitud de onda de entre 8 y 12 micrómetros) es captada por una cámara especial —que ha de ir situada en el exterior del vehículo—, y se representa como imagen en la pantalla situada frente al conductor. Esta imagen se muestra como un negativo, con colores más claros para los objetos a mayor temperatura, destacando así cuerpos calientes, como un peatón o un animal que cruza la carretera.

Los sistemas activos se basan en un sensor de tipo CMOS con sensible a la radiación infrarroja cercana. Dado que los cuerpos no emiten de forma espontánea en

dicha longitud de onda (entre 780 y 1300 nanómetros), es precisa una iluminación adicional infrarroja que proporcionan dos lámparas halógenas. La imagen que se forma con esa iluminación infrarroja la recoge el sensor y la muestra una pantalla de blanco y negro.

Un sistema pasivo tiene mayor alcance que un sistema activo (unos 300 m frente a 150). Además, no se ven afectados por la iluminación de otros vehículos ni por las inclemencias meteorológicas, como sí sucede con los sistemas activos, y pueden representar con mayor nitidez los objetos susceptibles de causar mayor riesgo en conducción nocturna. Esta tecnología es todavía propiedad del ejército estadounidense, por lo que su uso está sujeto a diversas regulaciones.

Por el contrario, un sistema activo es más económico, de uso libre y tiene capacidad para detectar objetos invisibles para el sistema térmico (por ejemplo, un tronco en la calzada). Común para ambos sistemas es la posibilidad de postprocesar la imagen obtenida y realizar así funciones de reconocimiento de peatones, por ejemplo, mediante visión artificial.

El primer sistema de visión nocturna empleado en automoción lo ofreció el Cadillac DeVille, aunque no tuvo el éxito esperado y dejó de ofertarse dicha opción.

2.3.5. Sistemas de detección de fatiga y somnolencia en el conductor

Actualmente existen dos tipos de sistemas de detección de la fatiga del conductor diferenciados según el tipo de datos que dichos sistemas utilizan para establecer que la conducción se está realizando sin la concentración adecuada o con el conductor bajo un estado de somnolencia. Por un lado se encuentran aquellos sistemas que monitorizan el entorno del vehículo y los parámetros de conducción y por otro lado aquellos sistemas que directamente monitorizan los rasgos faciales del conductor.

Los sistemas basados en el análisis de los parámetros de conducción analizan el comportamiento de conducción del conductor para crear un perfil específico de dicho comportamiento. Entre los parámetros que normalmente se comparan de forma constante con el perfil de conducción se encuentran la velocidad del vehículo, su aceleración longitudinal y transversal, el no sobrepasar la línea de carril, los movimientos del volante, la utilización de intermitentes, el uso de los pedales de aceleración y freno, etc. Los conductores que se encuentran en condiciones de fatiga realizan movimientos de corrección de la dirección muy característicos, capaces de ser interpretados por los distintos sensores del vehículo. Los datos recogidos por los distintos sensores permiten que la unidad de control creé el perfil de conducción del conductor durante los primeros minutos del viaje. Posteriormente los datos de los sensores son recogidos por esta unidad electrónica de control, que los compara con el perfil creado y establece de esta forma si la conducción se está desarrollando bajo los

efectos de la fatiga, y en caso afirmativo, alertar al conductor de la situación mediante un aviso tanto visual como acústico.

El otro tipo de sistema de detección de fatiga se basa en la monitorización de los rasgos faciales del conductor, interpretando el movimiento de sus ojos y su velocidad de parpadeo como datos para la detección de la fatiga. En estos sistemas se suelen utilizar microcámaras de infrarrojos instaladas en el interior del vehículo y dirigidas hacia la cara del conductor, o incluso solo a sus ojos. Las imágenes obtenidas de las cámaras son analizadas en la correspondiente unidad electrónica de control para determinar si el conductor muestra síntomas de fatiga o desatención a la conducción. La utilización de cámaras infrarrojas permite que el sistema funcione correctamente independientemente de las condiciones de iluminación del habitáculo.

Estos sistemas permiten distinguir entre la conducción bajo los efectos de la fatiga y la conducción con falta de atención. En el primer caso el dato fundamental a medir es la frecuencia del parpadeo del conductor o incluso los bostezos, de forma que cuando se detecta que ésta se corresponde con un patrón definido asociado a la somnolencia, se produce la alerta al conductor por medio de una señal acústica. Para la detección de una conducción desatenta, el sistema utiliza principalmente como dato la dirección hacia la que se encuentran dirigidos los globos oculares. En el caso de que el conductor no dirija su mirada hacia la zona frontal del vehículo, el sistema detecta este hecho e inicia un contador para establecer el tiempo en que la mirada no se encuentra dirigida hacia la carretera. Si el tiempo transcurrido es lo suficientemente elevado (normalmente un par de segundos), el sistema alerta al conductor de la desatención, como por ejemplo con una vibración del asiento. La precisión de las cámaras es lo suficientemente elevada como para permitir que el sistema distinga cuando el conductor se encuentra mirando a los espejos retrovisores o cuando dicho conductor gira la cabeza para ver mejor en una intersección, y en ese caso, el tiempo dado antes de emitir la señal es más elevado.

Es este último tipo de detección visual el que más se está desarrollando actualmente al no ser necesarios tantos sensores, solamente una microcámara, y ser al menos igual de eficaz que el primero explicado. Un ejemplo de este tipo de sistemas es el “Driver Attention Warning System”, desarrollado por Siemens, o también el “Driver Monitoring System” desarrollado por Toyota y Lexus, siendo éstas las dos únicas marcas que los ha incluido en algún modelo de serie, como son el Lexus LS 600h y otros modelos desde 2007, y por parte de Toyota en Crown Hybrid a partir de 2008.

En la universidad Carlos III de Madrid también ha sido desarrollado un sistema de detección de somnolencia similar al explicado en este apartado, y que está basado en el análisis del comportamiento facial del conductor para identificar la fatiga o la somnolencia por medio de una microcámara integrada en el salpicadero del vehículo. Este sistema se encuentra instalado en el propio vehículo de pruebas IVVI.

2.3.6. Sistema de detección de señales de tráfico (TSR)

Como su propio nombre indica, ésta tecnología consiste en detectar las señales de tráfico presentes en entorno viales. Los primeros sistemas de detección de señales de tráfico fueron desarrollados por la cooperación de Mobileye y Continental AG, y se pudieron ver instalados en vehículos de serie en 2008, concretamente estaba disponible para la Serie 7 de BMW, y solo al año siguiente también se podía ver en la Clase S de Mercedes-Benz. Esta primera generación solo detectaba las señales de límites de velocidad, y se considera que la segunda generación llegó de la mano de Opel a finales de 2009, con su modelo Insignia. La novedad del dispositivo introducido por Opel consiste en la detección de otro tipo de señales aparte de las del límite de velocidad, como puede ser el fin de zona de adelantamiento. Un ejemplo de su funcionamiento se puede ver en la figura 6.



Figura 6. Ejemplo de funcionamiento del sistema de reconocimiento de señales de Opel

De igual forma que el resto de dispositivos ADAS, su función es la de mejorar la seguridad vial por medio de la ayuda al conductor. El sistema funciona gracias a una cámara situada en la parte frontal del vehículo, que va procesando en tiempo real las imágenes captadas hasta detectar la señal de tráfico, cuando esto sucede la muestra en una pantalla incorporada en el habitáculo del vehículo y visible por el conductor. Aparte de mostrarla por pantalla este dispositivo también puede dar otro tipo de avisos, como pudieran ser una alarma acústica si se circula a una velocidad superior a la indicada por la señal de tráfico. Existen diferentes configuraciones para dar prioridad a los distintos tipos de señales.

Al igual que el sistema explicado anteriormente, en la universidad Carlos III de Madrid, también se ha desarrollado este dispositivo en el vehículo inteligente IVVI.

2.3.6. Sistema de asistencia en intersecciones

El objetivo de este sistema es reducir (y a largo plazo evitar) las colisiones que se producen en las intersecciones, sobre todo enfocado a las colisiones laterales, que son las más comunes por la falta de visibilidad.

Se trata de un proyecto que todavía no ha podido ser comercializado, y aunque está muy avanzado en su desarrollo todavía siguen abiertas algunas investigaciones para que sea completamente óptimo. Hay varias marcas trabajando en su desarrollo, pero la que mejores resultados ha obtenido es una unión de varios fabricantes de vehículos (BMW, VW, PSA y RENAULT) e instituciones (INRIA, IKA, FCS, Signalbau Huber) conocido como proyecto INTERSAFE. El proyecto inicial comenzó en febrero de 2001, de 2004 a 2008 se amplió con la versión 2.0, y en la actualidad se encuentra en desarrollo la versión 3.0.

Para validar la teoría y probarla en situaciones de tráfico real se instaló el sistema en un vehículo de pruebas modelo VW Phaeton, en esta plataforma se instalaron dos escáneres láseres (integrados en la esquina izquierda y derecha delantera del vehículo), una cámara de video y un sistema de comunicación. Como ya se ha explicado en otros sistemas ADAS, la detección del entorno viario y de los obstáculos se produce por la fusión de información dada por la visión y los láser, y con los datos obtenidos se hace una evaluación dinámica de los riesgos. Esta evaluación se basa en el seguimiento y clasificación de objetos, comunicación con la gestión del tráfico y de los propósitos del conductor. Como resultado de la dinámica de evaluación de riesgos, pueden ser identificados los posibles conflictos con otros usuarios de la carretera y la gestión de tráfico. Cuando se detecta un peligro, el conductor es avisado, o el sistema interactúa con el vehículo para evitar la colisión.

Los resultados de las fases de evaluación son bastante esperanzadores. Ya que las pruebas de ensayo han indicado que el asistente de intersección tiene una tasa de alarma correcta del 93% en escenarios de giro a la izquierda y el 100% en escenarios laterales.

2.3.7. Sistema de detección de obstáculos

Esta innovación se basa en la detección de diferentes obstáculos, como puede ser el vehículo que nos precede, un peatón, o una roca en el camino. Este sistema se encuentra en la actualidad en pleno desarrollo, siendo diferentes marcas las que están probando e incluso algunas de ellas ya han conseguido incorporarlo a sus modelos de gama alta.

La detección de obstáculos puede estar integrada por diferentes sistemas o incluso la fusión entre ellos, siendo los más utilizados la visión estéreo y el láser. La visión utiliza técnicas de procesamiento de imagen para la detección de los obstáculos, pero tiene algunas limitaciones como la falta de visibilidad producida por las condiciones

meteorológicas, falsas detecciones creadas por sombras indeseadas, o el no saber de forma eficiente la distancia a la que se encuentra el obstáculo. También se ha experimentando con cámaras infrarrojas y térmicas para poder tener visión nocturna y que la detección sea más eficiente. El láser suple en parte las limitaciones de la visión, ya que detecta la distancia a la que se encuentra el obstáculo, y con diferentes algoritmos puede distinguir el tipo de obstáculo. Teniendo como limitación principal el láser que solo trabaja en 2D, no es efectivo para saber el volumen del obstáculo, ni para confirmar al cien por cien la naturaleza de obstáculo. El sistema más efectivo parece ser la fusión del láser con la visión, ya que se complementan a la perfección los dos sistemas. Es éste el sistema que se está desarrollando en el conjunto global donde se integra el presente proyecto.

El procedimiento de actuación del sistema de detección de obstáculos es similar al de otros sistemas ADAS, ya que cuando detecta un peligro avisa al conductor por medio de señales acústicas o visuales, y si el conductor no reacciona lo suficientemente rápido, la tecnología manda la orden de frenar el coche o al menos de reducir la velocidad para evitar la colisión.

Como se comentaba antes, es un sistema en pleno desarrollo, pero ya se están viendo las primeras generaciones en algunos modelos de serie. El primer fabricante en incorporarlo ha sido Volvo, en el modelo S60 a partir de febrero de 2010, y en la actualidad ha informado que pronto esperan incorporar sistemas de segunda generación capaces de detectar más variedad de obstáculos, como son los animales. El inconveniente de este sistema que solo funciona en condiciones de visibilidad buena, y lo que es más restrictivo aún, que solo funciona a velocidades inferiores a 35km/h.

2.3.8. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)

El sistema de control de la presión de los neumáticos (Tyre Pressure Monitoring System) es un dispositivo electrónico que controla la presión del aire en el interior del neumático. Un sistema TPMS mejora la seguridad del vehículo, ayuda a los conductores a mantener los neumáticos en buen estado y puede contribuir a reducir las emisiones a la atmósfera.

El TPMS directo informa al conductor en tiempo real sobre la presión del neumático. Esta información la recibe mediante un manómetro o simplemente mediante un indicador luminoso de baja presión. El TPMS directo funciona gracias a sensores físicos de presión, dentro de cada neumático, y un sistema para transmitir la información desde el interior del neumático al panel de control o cuadro de instrumentos del coche. El TPMS indirecto mide la presión del aire de forma indirecta, a partir de la velocidad de cada rueda y otras señales del vehículo.

2.3.9. Luces adaptativas y asistente de luces de carretera.

El control de iluminación adaptativo ofrece una mejora del campo de visión de hasta un 70% en comparación con los sistemas de faros convencionales. Especialmente en condiciones de poca luz y en las curvas, proporciona una mejor visión de largo alcance y una mayor seguridad. El sistema de iluminación dinámica en curva gira los faros en la dirección de la marcha según el grado de giro del volante.

Aquí intervienen dos tecnologías: las luces dinámicas en curva y las luces de giro estáticas. La iluminación dinámica en curva deduce la línea de la carretera de los movimientos del volante e ilumina las curvas de forma variable en un rango de velocidad de entre 10 y 110 km/h. Esto se consigue mediante el giro de los faros de xenón. Las luces de giro estáticas se encienden automáticamente cuando se activa el indicador de dirección durante un cierto periodo de tiempo a velocidad reducida e iluminan en la nueva dirección de la marcha. Permanecen encendidas mientras dure la maniobra de giro y se van apagando lentamente. También hay disponibles tres perfiles diferentes de distribución de los faros, que se activan de acuerdo con la velocidad del vehículo en la carretera: luces de ciudad, luces de autopista y luces de carreteras secundarias.

Las luces adaptativas en la actualidad suelen ir acompañadas por el asistente de luces de carretera, que puede decidir por sí mismo cuándo es conveniente utilizar las luces de carretera. Detecta de forma automática los faros de los coches que vienen de frente, las luces traseras de otros vehículos y las zonas urbanizadas, según los límites del sistema. Las luces de carretera se encienden y se apagan automáticamente dependiendo de la situación del tráfico.

Una cámara integrada discretamente en el espejo interior controla la carretera. La función de ayuda puede activarse al atardecer o por la noche, y se encarga de cambiar de forma automática entre las luces de carretera y de cruce. Junto con el sensor de luz para la activación automática de los faros, desempeña una función de ayuda de alta calidad para la iluminación.

El sistema mejora la visibilidad del conductor y proporciona una mayor comodidad al hacer de la conducción una actividad más relajante. Cuando se conduce de noche, se utilizan las luces de carretera el máximo tiempo posible, lo que hace que aumente la seguridad de forma significativa.

2.3.10. Sistema de aparcamiento automático

Estos sistemas fueron una evolución de los primeros asistentes de estacionamiento, aquellos que incorporaban sensores de distancia en los paragolpes y emitían un pitido creciente cuando el coche se acercaba al obstáculo en cuestión.

Pues bien, un sistema de estacionamiento automático requiere obligatoriamente de sensores que midan la distancia desde el coche hasta los límites de la plaza, los otros coches u obstáculos, tanto en el paragolpes trasero como en el paragolpes delantero.

Estos sensores suelen ser habitualmente de ultrasonidos y su número y distribución depende del tamaño y diseño del coche, aunque suelen ser cuatro o cinco por paragolpes. En ocasiones, aunque es poco habitual, se puede emplear un radar como sensor.

Además de estos, en los laterales del paragolpes y orientados en dirección transversal, tiene que haber más sensores que midan la distancia hacia el lateral del coche. Estos sensores miden los huecos que haya para aparcar y permiten que el sistema identifique uno en el que quepa el coche. Así cuando el conductor circula junto a la banda de estacionamiento y pasa por delante de un hueco, el sistema le dirá en la pantalla del cuadro de instrumentos si ese hueco es válido.

Los sistemas de aparcamiento automático han evolucionado y mejorado desde las primeras versiones y ahora necesitan menos espacio para aparcar. En algunas marcas ya solo necesitan 25 centímetros por delante y otros 25 por detrás. Algunos sistemas se complementan con una cámara de vídeo para visión marcha atrás, e incluso marcha adelante y 360 grados, para que el conductor supervise con mayor seguridad la maniobra.

Así que el sistema avisa al conductor de que hay un espacio válido, y le indica hasta dónde tiene que avanzar y dejar el coche. Y así le seguirá dando instrucciones en la pantalla en el momento oportuno: para insertar la marcha atrás, para acelerar, para frenar, para insertar la marcha hacia adelante, etc. El sistema se encargará de controlar la dirección, y hará girar el volante lo que sea preciso, y cuando sea preciso, sin error, gracias a un electromotor.

Hoy por hoy estos sistemas pueden estacionar en línea, y según la marca también en batería pero no son realmente automáticos, ya que el conductor tiene que seguir realizando ciertas operaciones. Es muy probable que con los avances en conducción autónoma que se están investigando, dentro de no mucho tiempo se comercialicen coches que se aparquen totalmente solos.

2.3.11. Sistema de comunicación entre vehículos (V2V)

Este sistema se basa en dotar a los vehículos de la capacidad de intercambiar diversa información con aquellos que circulan en las cercanías. Esto permite alertar a otros conductores de peligros, proporcionándoles información a la que de otra manera podría no tener acceso, o hacerle llegar con mayor antelación aquella que sólo encontraría cuando entrara en su campo de visión.

Este sistema también se puede utilizar como apoyo a la señalización en la carretera; por ejemplo, en una zona de obra, como la representada en la figura 7, se

pueden poner balizas que emitan la señal correspondiente y el conductor pueda advertirla antes de ver la señalización.

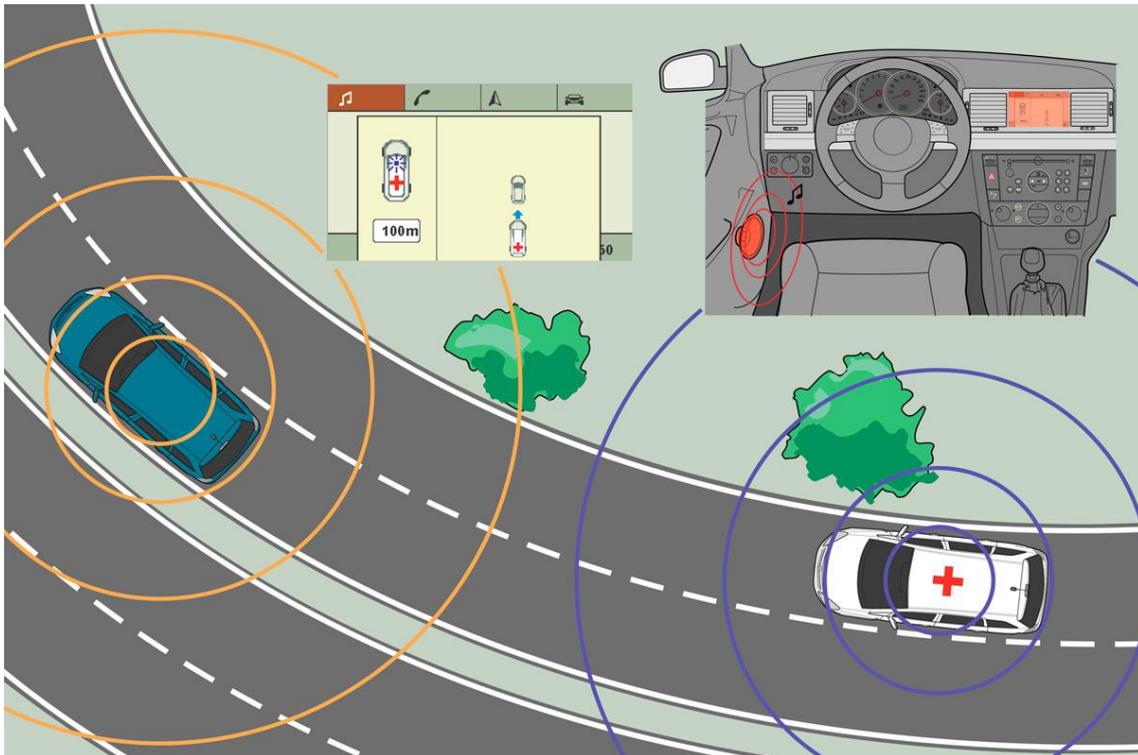


Figura 7. Ejemplo de funcionamiento del sistema V2V

El sistema tiene en cuenta los siguientes datos: posición, velocidad y dirección del vehículo (a través del GPS); aceleración o frenado (a través de la red CAN); activación del ABS (a través de la red CAN). Estos datos van a una red inalámbrica que se establece con los vehículos que se encuentran en las cercanías.

Gracias a ello, cada vehículo tiene constancia de la posición de los que se encuentran en las inmediaciones, su dirección y su velocidad, y con ello detectar el peligro de colisión cuando sus trayectorias previstas indiquen que vayan a pasar por el mismo punto en un lapso de tiempo demasiado pequeño.

En todo momento se establece una red de comunicación directa con todos los vehículos que circulen dentro del alcance, que llega a 300 metros en casi cualquier condición de circulación en carretera abierta, pero puede llegar a sobrepasar los 500 metros en condiciones favorables.

No obstante, si es necesario y posible, la información emitida por un vehículo puede llegar a transmitirse a decenas de kilómetros saltando de coche en coche, sin otra condición que la distancia entre dos vehículos consecutivos caiga dentro del alcance.

Estructuralmente hablando, este tipo de sistemas son bastante sencillos. Dado que la implementación de la navegación por GPS en el automóvil hace tiempo que está solucionada (con mayor o menor precisión), sólo es necesario un emisor/receptor que



pueda ponerse en contacto con los demás vehículos, y una lógica de control que analice la información del propio vehículo y la proveniente de los demás, y dicte las medidas adecuadas a tomar.

Un inconveniente de esta tecnología es que sólo llegará a ser provechosa cuando la tengan la mayoría de los vehículos que circulan. Instalar módulos V2V en vehículos que originalmente no lo tienen no parece viable. Y si lo fuera, su funcionalidad estaría limitada en cierta medida (sería difícil acceder a la red CAN del vehículo con un sistema instalado a posteriori).

2.3.12. Sistema paneuropeo de llamada de emergencia en el vehículo (eCall)

Cuando un coche equipado con eCall tiene un accidente, este dispositivo llama automáticamente al centro de emergencias más cercano y transmite un conjunto de datos. La rapidez con que los servicios de rescate se han movilizad o es de suma importancia para salvar vidas o reducir los efectos de las lesiones. eCall puede reducir drásticamente el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia.

El sistema eCall integrado establece una conexión de voz a través del número 112 con el centro público de atención de llamadas de urgencia correspondiente (PSAP, Public Service Answering Point) y envía datos vitales, como la hora y lugar del accidente y las características del vehículo implicado. La información enviada al PSAP también puede incluir un enlace a un proveedor de servicios, con su dirección IP y número de teléfono. Si el usuario está abonado a un proveedor de servicios, este también puede enviar información complementaria al PSAP.



Capítulo 3. Descripción de la arquitectura utilizada



3.1. Introducción

Para el desarrollo del proyecto del vehículo inteligente de la UC3M y las aplicaciones que en él se están implementando, ha sido necesaria la instalación de un completo equipo de dispositivos y de un sistema de procesado de datos, que fueran capaces de proporcionar información sobre el comportamiento del propio vehículo y del entorno viario por el que circula. Como el objetivo principal es conseguir el desarrollo de sistemas de seguridad para la posterior instalación en vehículos que circulen por carreteras abiertas al tráfico común, estos equipos instalados tienen que cumplir unos requisitos mínimos que garanticen el correcto funcionamiento en cualquier situación, ya que de lo contrario, en vez de aumentar la seguridad de los vehículos podrían ocasionar el efecto contrario.

En este capítulo se explican las características técnicas, así como el principio de funcionamiento que tienen los equipos y el software utilizados para el desarrollo de este proyecto.

3.2. Vehículo de pruebas IVVI 2.0

La plataforma de pruebas utilizada para el desarrollo del proyecto es la conocida como IVVI 2.0 (Intelligent Vehicle based on Visual Information), desarrollado por el Laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI) de la Universidad Carlos III de Madrid, y que tuvo como antecedente el modelo 1.0. Esta plataforma consiste en un automóvil de serie de la marca Nissan, modelo Note. Se trata de un vehículo de gama media homologado para circular por carreteras abiertas al tráfico y que al tratarse de un vehículo al alcance de cualquier usuario es una plataforma idónea en la que probar todos los dispositivos que aparecen en la figura 8.

desarrollado numerosos proyectos para mejorar la seguridad vial, y en el cual se sigue trabajando para desarrollar otros proyectos novedosos.

3.3. Descripción del hardware utilizado

En este apartado se explicarán los distintos equipos utilizados para el desarrollo del sistema de detección de grupos de peatones.

3.3.1. Telémetro láser

El telémetro láser instalado es el modelo SICK LMS 291-S05, como el de la figura 9, capaz de leer un plano en dos dimensiones con una resolución desde 1° hasta $0,25^\circ$ y con un campo de visión configurable hasta los 180° . La distancia máxima de detección es regulable desde los 8 metros hasta los 80 metros, teniendo un periodo de muestreo mínimo de 13ms.



Figura 9. Telémetro láser SICK LMS 291-S05 instalado en el frontal del IVVI 2.0

Para la aplicación desarrollada se ha empleado la configuración de $0,25^\circ$ de resolución y una distancia de 80 metros, la máxima configurable ya que aportará una perspectiva amplia del entorno para poder detectar los obstáculos lo más rápidamente posible. En cuanto al ángulo de visión está configurado a 100° . La particularidad de éste telémetro, que le hace ideal para este tipo de sistemas es tener una resolución tan baja. Para conseguirla, el láser realiza cuatro escaneos independientes de 1° grado cada uno

de resolución, estando cada uno de ellos separado $0,25^\circ$ entre sí. De esta forma es posible conseguir una resolución de $0,25^\circ$ grados al cuarto escaneo (ver funcionamiento en la figura 10). Este comportamiento hace que sea posible identificar cuando los objetos se están moviendo debido al singular patrón que deja a lo largo de las cuatro rotaciones consecutivas. Este patrón será proporcional al movimiento del objeto y su trayectoria a lo largo de las rotaciones.

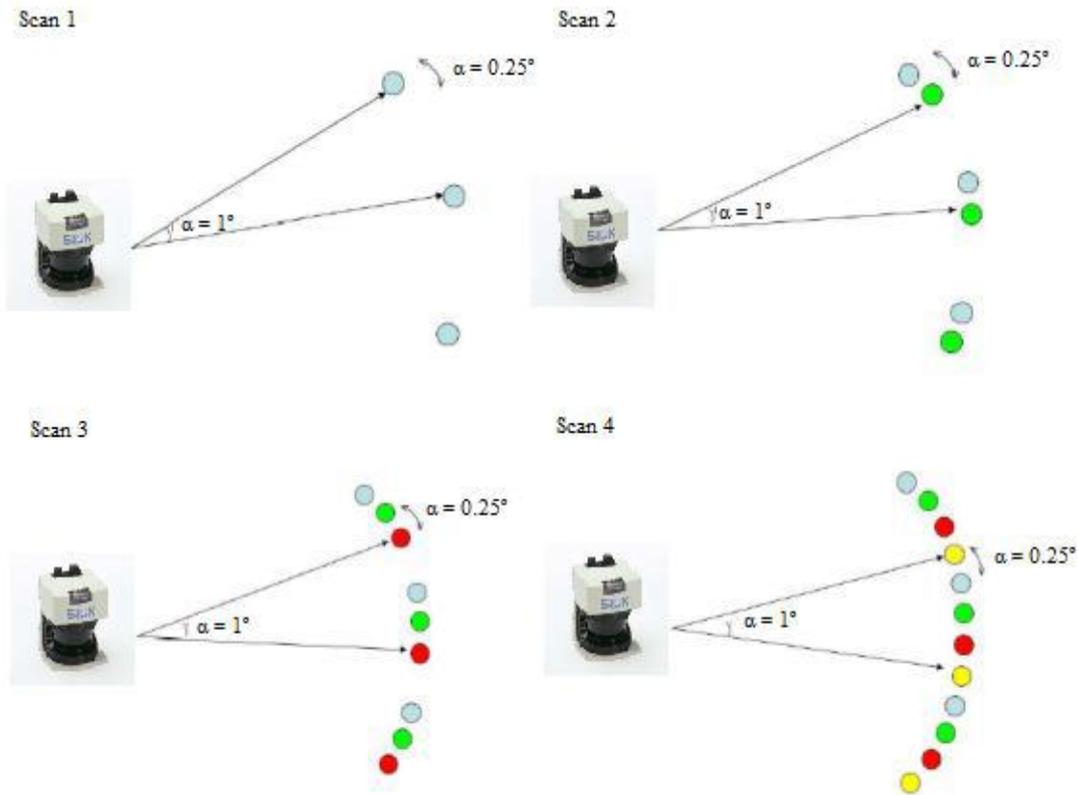


Figura 10. Funcionamiento del telémetro láser

El láser está montado en la parte frontal del automóvil, ligeramente a la izquierda, mediante un anclaje que provee el fabricante y adaptado al parachoques del vehículo. Esta sujeción es lo suficientemente sólida y segura para garantizar que el láser tenga el mismo movimiento que el vehículo y que no pueda llegar a desprenderse de él.

3.3.2. Sistema de visión estéreo

El sistema de visión estéreo se compone de una cámara modelo Bumblebee2 de la marca Point Grey que proporciona imágenes reales del entorno. Esta cámara tiene dos sensores con una resolución de 0.3 megapíxeles y un rango de frame de 48 FPS, lo que permite el correcto funcionamiento para esta aplicación y que además sus reducidas dimensiones permiten su correcta instalación en el vehículo. La cámara se encuentra dirigida en la misma dirección que el láser para poder fusionar ambos sistemas y así tener una mejor perspectiva de lo que está pasando al tener la imagen real y la imagen

del láser, evitando falsas detecciones y aumentando la fiabilidad del sistema. Una vez capturadas las imágenes, se realiza sobre ellas un proceso de visión por computador para detectar los obstáculos, por medio del análisis de formas y tamaños.

Aunque las imágenes se han capturado con esta cámara, en el desarrollo del proyecto no se ha hecho uso de la visión estéreo, es decir, sólo se han empleado las secuencias capturas por unos de los sensores. Se ha tomado esta decisión ya que la visión estéreo es una línea de investigación alternativa, y las necesidades de trabajar en tiempo real hacen que las elevadas exigencias de procesamiento de esos sistemas sean poco interesantes.

3.3.3. Sistema de adquisición y procesado de datos

En el vehículo se encuentran instalados tres ordenadores modelo Apple Mac Mini, que son los encargados del procesado de datos de todos los sistemas que se están probando en el automóvil, estando los dispositivos conectados por cable a estos ordenadores. Cada dispositivo usa una conexión diferente según sus particularidades.

Para establecer la comunicación entre el telémetro láser y el ordenador, se usa un conversor puerto serie USB, modelo RedCom Meilhaus Electronic, como el de la figura 11. Dentro de la unidad, hay 10x2 (20 pines) bloques de cabecera, que son puenteados para seleccionar el modo de operación deseado, RS-422 o RS-485. Para la aplicación utilizada en este proyecto, la conexión entre el telémetro láser y el conversor serie USB, se produce a través de una pequeña placa donde se encuentran puenteados los pines correspondientes.



Figura 11. Conversor serie USB RedCom

La conexión entre ordenador y el resto de dispositivos es más habitual, siendo entre la cámara y el ordenador por medio cable USB y utilizando el firmware

suministrado por el fabricante, la comunicación con el GPS es por cable serie y USB, y la pantalla del habitáculo con los ordenadores por medio de cable VGA.

3.3.4. Sistema de visualización

La visualización del sistema de detección de obstáculos y otros sistemas, se realiza mediante una pantalla táctil, modelo Xenarc 700 TSV de 7 pulgadas. Esta pantalla permite visualizar los resultados, además de servir, junto con un teclado, como sistema de entrada de datos del ordenador.

La pantalla está integrada en el salpicadero del vehículo y es multifuncional. Se trata de una pantalla táctil para que en un futuro el usuario pueda variar de una forma fácil e intuitiva diferentes configuraciones de la visualización. Su tamaño de 7 pulgadas permite ver claramente los obstáculos y los diferentes tipos de información que se muestran, como distancia al obstáculo, velocidad, áreas de seguridad, etc. También es utilizada por otros dispositivos que se están probando en el vehículo IVVI 2.0. Entre otras opciones se eligió este modelo por su tamaño, ser táctil, incluir entradas que permiten conexión con el ordenador y diferentes sistemas operativos, además incluye altavoz.

3.3.5. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación se compone de la batería del automóvil, de 24V y de un sistema transformador que entrega 1000W de potencia. El transformador de corriente escogido es un sistema sobredimensionado actualmente, ya que se estima que en un futuro tanto el número de equipos y sistemas de adquisición instalados en el vehículo sean mayores.

Los mayores consumos de los dispositivos instalados en la actualidad se centran en los ordenadores y en el telémetro láser, como se puede apreciar en la tabla 3.

Dispositivo	Consumo
Ordenadores	3 x 90W = 270W
Telémetro láser	20W
Pantalla	5W
Cámara de visión estéreo	1.5W
Total	296.5 W

Tabla 3. Consumo de los dispositivos instalados en el vehículo

3.4. Descripción del software utilizado

Para el desarrollo del presente sistema se cuenta con la ayuda de un ordenador instalado en el interior del vehículo. En dicho ordenador está instalado el sistema

operativo Windows XP, ya que es compatible con el resto de programas instalados y con todos los drivers de los sensores. El ordenador también incluye la instalación de diversos programas que procesan la información obtenida de los sensores, facilitando la lectura de datos y su comprensión. Hay que destacar, que como la plataforma IVVI 2.0 es utilizada para diferentes proyectos, se ha consensuado el utilizar un mismo lenguaje de programación y los mismos programas para favorecer las futuras integraciones entre los diferentes proyectos de una forma más óptima y sencilla. A continuación se muestran algunos de los programas y librerías utilizadas, así como sus características.

3.4.1. Microsoft Visual C++ 2008

Como se ha comentado anteriormente, se decidió que el lenguaje de programación utilizado en la plataforma fuera común, y por ello se utiliza para el desarrollo de las aplicaciones el lenguaje de programación C++. El software instalado como entorno de desarrollo se trata del Visual C++ de Microsoft, una herramienta potente y fácil de utilizar. A pesar de existir versiones más recientes, se sigue utilizando la versión 2008, ya que se aprovechan los desarrollos que se hicieron anteriormente a éste proyecto y que se usan para poder seguir desarrollando los actuales. Con esta versión se evita tener problemas de incompatibilidad.

El empleo de C++ permite a su vez la integración de bibliotecas ya existentes, al encontrarse muchas de ellas implementadas en dicho lenguaje de programación, lo que ayuda en buena medida al programador, y que sin ellas sería inviable el plantearse el desarrollo de este proyecto. A pesar de esta ayuda, muchas veces este apoyo adicional se reduce a partes concretas de la metodología de trabajo, necesitando una lógica extra que permita integrar las distintas partes y siendo ésta proporcionada por el programador.

El desarrollo del sistema de detección de grupos de peatones, así como su representación por pantalla, necesita la integración en el mismo de distintas bibliotecas, siendo la biblioteca más utilizada para éste proyecto OpenCV.

3.4.2. Librerías de tratamiento de imagen OpenCV 2.4.3

OpenCV es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Desde que apareció su primera versión alfa en el mes de enero de 1999, se ha utilizado en infinidad de aplicaciones. Desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicaciones de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos. Esto se debe a que su publicación se da bajo licencia BSD (Berkeley Software Distribution), que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas.

Open CV es multiplataforma, existiendo versiones para GNU/Linux, Mac OS X y Windows. Contiene más de 500 funciones que abarcan una gran variedad de áreas en el proceso de visión por computador, como reconocimiento de objetos (reconocimiento facial), calibración de cámaras y visión estéreo.



La versión utilizada para el desarrollo del trabajo es la 2.4.3.

3.4.3. MATLAB

MATLAB es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M), y que además es multiplataforma, ya que es compatible con Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

El programa MATLAB no ha sido utilizado directamente para el desarrollo del presente proyecto, pero sí de una forma indirecta al ser este programa el encargado de crear las bases de datos que almacenan la información proporcionada por los sistemas de detección de obstáculos. Dichas bases de datos ofrecen toda la información recogida de los dispositivos de una forma lógica y colocada, algo esencial para poder leer los datos y sobre todo interpretarlos para procesarlos correctamente.



Capítulo 4. Sistema propuesto

En este capítulo se detallan en primer lugar las fases del desarrollo del sistema. Posteriormente se explican las características de los datos utilizados, y la forma en que se procesan dichos datos para realizar una correcta detección.

4.1. Fases de desarrollo

Antes de comenzar con el diseño del sistema de detección, se pasó por una breve fase de aprendizaje y familiarización con las herramientas y datos a manejar en la que se adquirieron los conceptos básicos para iniciar el desarrollo de la aplicación.

Durante esta etapa se realizaban detecciones de una sola persona en una sola secuencia. Una vez comprendido el funcionamiento, se comenzó con la detección de un solo peatón en series de varias secuencias reales. A continuación se empezaron a utilizar parcialmente los datos capturados por el telémetro láser para determinar las regiones de interés dentro de las imágenes capturadas por la cámara.

A partir de este momento, se pasó a desarrollar la detección de grupos de peatones y se introdujeron el resto de datos del láser sobre el tamaño del obstáculo y la distancia a la que se encuentra.

Por último, y con el fin de asegurar la sincronización entre los datos recopilados por el láser y por la cámara, se introdujo un algoritmo para controlar este aspecto.

4.2. Datos obtenidos por el telémetro láser

El telémetro láser está configurado para funcionar de manera sincronizada con la cámara y así proporcionar la información sobre los obstáculos situados frente al vehículo cada vez que se captura una imagen.

Los datos que proporciona el telémetro láser, una vez preprocesados, contienen información, como por ejemplo del tipo de obstáculo, que no es necesaria ni utilizada por el programa de detección de grupos de peatones.

Los datos aportados por el telémetro que sí son necesarios para una correcta detección son los siguientes:

- Tamaño y posición del obstáculo: este dato sirve para delimitar, en la imagen capturada por la cámara, la región de interés que se procesará con el fin de determinar si se trata un grupo de peatones (ver figura 12). También se utiliza para filtrar aquellos objetos cuyas dimensiones no se corresponden con las estimadas para un grupo de personas.
 - Tamaño: ancho (width) y alto (height).
 - Posición en u (x) y en v (y) de la región de interés.

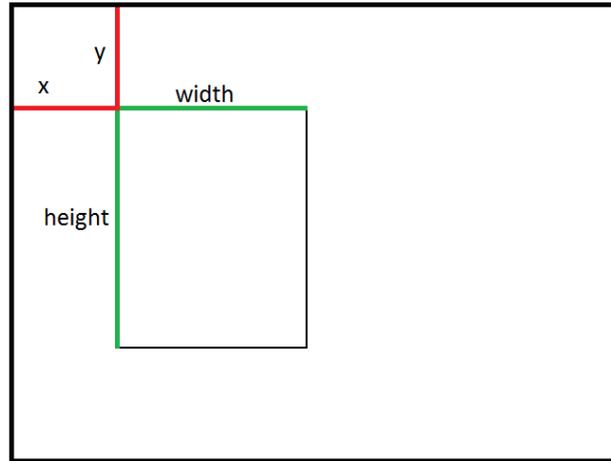


Figura 12. Región de interés en la imagen capturada por la cámara

- Distancia del vehículo al obstáculo: este dato se utilizará exclusivamente para filtrar aquellos obstáculos fuera del área de interés.
- Tamaño del obstáculo (ver figura 13): en este sistema, este dato es fundamental, ya que gracias a él se podrá determinar si un obstáculo es más grande que un peatón y por tanto debe ser tenido en cuenta como un posible grupo de peatones.
 - Ancho del obstáculo (width).
 - Profundidad del obstáculo (height).

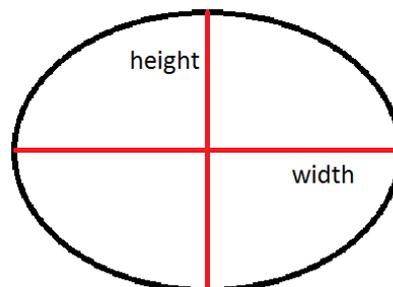


Figura 13. Dimensiones del obstáculo

A lo largo de este capítulo y en el siguiente se comprueban los valores de estos datos para el filtrado de información irrelevante con los que se obtienen los mejores resultados.

4.3. Imágenes capturadas por la cámara

La cámara captura imágenes en blanco y negro con un tamaño de 640 x 480 píxeles a una frecuencia aproximada de 5 capturas por segundo. Con estas imágenes por sí solas, se podría intentar realizar una detección de peatones simple con cierta fiabilidad. Sin embargo, al contener una gran cantidad de información visual, especialmente en un entorno urbano, el número de falsos positivos es demasiado alto y es necesario el uso de los datos del telémetro láser.

A pesar de volcar los datos del telémetro sobre las imágenes y utilizarlos como filtro, son dichas imágenes el criterio último para determinar la presencia o no de un grupo de peatones delante del vehículo.

4.4. Funcionamiento de la aplicación

La aplicación consiste fundamentalmente en la ejecución de un bucle del que se sale cuando se produce un error o se desea finalizar la aplicación. Antes del inicio del bucle, se abren los índices o archivos que contienen las rutas de cada captura de la cámara y de los datos del láser, y se crea un archivo en el que se guardarán los resultados de las detecciones.

El bucle comienza con la lectura del índice de imágenes y apertura de la imagen previa comprobación de que el índice de imágenes continúa abierto correctamente y no se ha llegado al final del mismo. Una vez que la imagen se ha abierto, se procede a realizar el mismo manejo de errores con el índice de los ficheros del láser. A continuación, comienza el algoritmo de sincronización de imágenes y datos del láser que también se encarga de la apertura de estos últimos. El diagrama de flujo completo de la aplicación se puede ver en la figura 14.

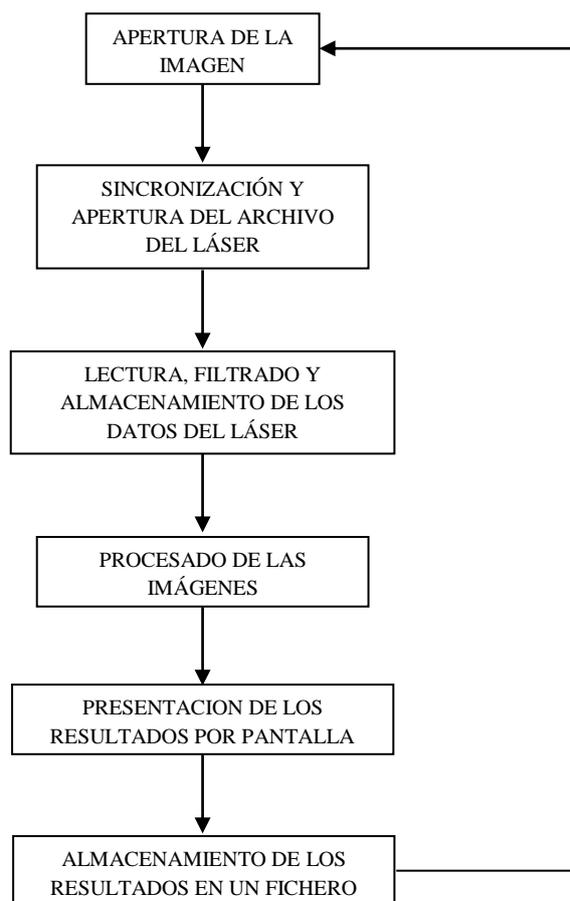


Figura 14. Diagrama de flujo de la aplicación

4.4.1. Sincronización de imágenes y datos del telémetro láser

Este algoritmo fue introducido para evitar desfases entre los datos provenientes de los dos sistemas. De esta forma, para cada imagen se abrirá el fichero de datos del láser más próximo. Sin embargo, en tiempo real, esto no sería necesario, ya que los datos se procesarían tan pronto como estuviesen disponibles.

En la mayoría de los casos, el fichero de datos del telémetro se genera justo antes de que la cámara capture la imagen. Por tanto, el algoritmo primero buscará y abrirá el fichero de datos del láser generado en el instante anterior más próximo posible al de la imagen abierta. De no darse estas condiciones, abrirá un fichero generado más tarde que la imagen y continuará el ciclo. Al siguiente ciclo, de no haberse generado nuevos datos del láser antes de la siguiente imagen, se utilizarán de nuevo los del ciclo anterior con el objetivo de eliminar el desfase introducido cuanto antes. El diagrama de flujo de este algoritmo se puede ver en la figura 15.

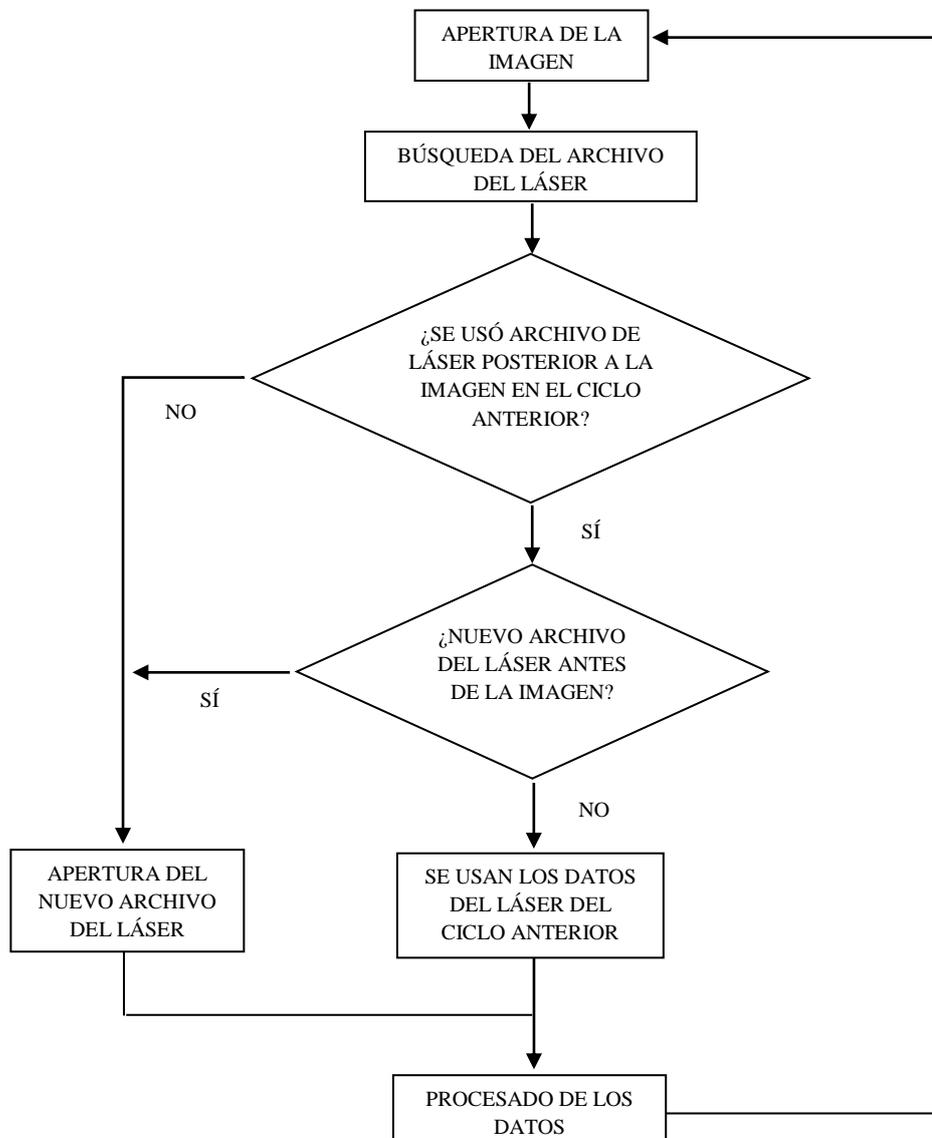


Figura 15. Diagrama de flujo del algoritmo de sincronización de datos

Tras abrir el fichero de datos adecuado, se procede a leer y procesar la información contenida en el mismo.

4.4.2. Procesado de los datos obtenidos por el telémetro láser

Una vez que se han abierto la imagen y el fichero de datos del láser asociado, se procede a leer toda la información contenida en este último. La lectura se realiza de forma secuencial, de forma que en cada ciclo se obtienen todos los datos de un obstáculo hasta que se detecta el final del archivo. Tras leer los datos de un obstáculo, se comprueba que se ajustan a los parámetros de un grupo de peatones. De ser así, se almacena esta información en un vector, si no, se continúa con la lectura de los datos del resto de obstáculos detectados.

A continuación se utilizarán estos datos para delimitar las regiones de interés que serán procesadas en busca de un grupo de peatones.

4.4.3. Procesado de las imágenes capturadas por la cámara

Después de leer, filtrar y almacenar los datos de los obstáculos, comienza el procesado de las imágenes. En primer lugar se selecciona la región de interés del obstáculo, la cual se le pasa a la función encargada de realizar la detección de peatones y que forma parte de las librerías OpenCV. Esta función (`detectMultiScale`) devuelve, en su caso, una serie de rectángulos que contienen los peatones detectados, que pasan por un filtro para eliminar posibles detecciones dobles. A continuación, se realiza una transformación, de acuerdo a la figura 16, para pasar de la base de coordenadas de la región de interés sobre la que realizó la detección a la base de coordenadas de la imagen completa. Tras completar esta transformación, los datos de las detecciones se almacenan en un vector para ser mostrados por pantalla posteriormente.

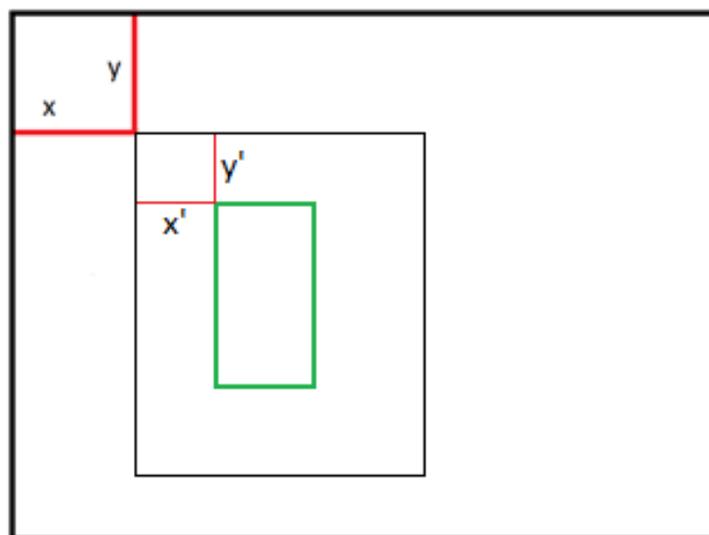


Figura 16. Posición relativa del peatón detectado.

El proceso descrito anteriormente se realiza una vez por cada obstáculo que ha sido almacenado. Los parámetros utilizados para la detección, es decir, los se le pasan a la función detectMultiScale, son los siguientes:

- hit_threshold: este parámetro controla la sensibilidad del detector. Al reducirla, se reduce la exactitud necesaria para que se produzca una detección, y al mismo tiempo, se aumenta la posibilidad de que se produzca un falso positivo.
- group_threshold: este parámetro regula la agrupación de los rectángulos que cubren una zona similar y tienen un tamaño similar. Si se aumenta este valor, se agruparán con más frecuencia.

Los efectos de estos parámetros, así como los valores más adecuados que deben tomar se analizan en el siguiente capítulo.

4.4.4. Presentación por pantalla y almacenamiento de los resultados obtenidos

En último lugar se muestra por pantalla la información obtenida en el proceso anterior. En la ventana de la aplicación se muestra la imagen que se ha procesado, y sobre ella, se marcan los peatones detectados así como las regiones de interés analizadas. En la figura 17 se puede ver una captura de esta ventana.



Figura 17. Ventana de la aplicación mostrando resultados de una detección.



Con el fin de facilitar las pruebas y el análisis de los resultados y con ello mejorar el funcionamiento del programa fundamentalmente, se almacenan estos datos en un fichero.



Capítulo 5. Pruebas y resultados

A continuación se detallarán las pruebas que se han llevado a cabo para determinar los valores de filtrado y los parámetros de la función de detección que arrojan mejores resultados. Por último, se realizará un análisis general de los resultados definitivos una vez calibrado el sistema.

5.1. Determinación de los valores de filtrado

5.1.1. Filtrado por dimensiones de la región de interés

Para este filtrado se establecen unas dimensiones máximas y mínimas que la región de interés puede adoptar. Con el fin de hallar los límites inferiores, se hizo una medida del tamaño que ha de tener un peatón en píxeles para ser reconocido. Tras realizar varias pruebas se determinó que la altura mínima del área de interés sería de 65 píxeles, mientras que el ancho debería ser superior a 45.

El proceso para hallar las dimensiones máximas de la región de interés es similar. Se realizó una medida de la altura que tendría un peatón situado lo más cerca posible del vehículo y se estimó el ancho máximo que podría tener un grupo relativamente grande de personas. Al igual que en el caso anterior, tras varias pruebas, se llegó a la conclusión de que la altura máxima sería de 240 píxeles y el ancho máximo de 150.

A pesar de tratarse de un filtrado relativamente simple, la asignación de los valores correctos hizo disminuir el número de falsos positivos drásticamente. Este proceso obviaba grandes áreas de la imagen correspondientes a edificios o vehículos que podían contener patrones detectables por la función de detección como personas.

5.1.2. Filtrado por distancia del vehículo al obstáculo

La distancia del vehículo al obstáculo es otra forma de filtrar aquellas regiones que carecen de interés para el sistema de detección. Sirve para desprestigiar obstáculos que se encuentran o muy cerca o muy lejos del vehículo. En el primer caso, la distancia mínima a la que se debe encontrar un objeto para ser tenido en cuenta es de 2 metros, ya que si un peatón se encontrase más cerca no sería captado en su totalidad por la cámara y además su detección no sería muy útil ya que no habría tiempo suficiente para evitar el atropello.

La distancia máxima a la que se podría encontrar un peatón o grupo de peatones para ser detectado está relacionado con el caso anterior, ya que si este se encuentra demasiado lejos, su tamaño en la imagen será demasiado pequeño como para ser detectado por la función. Por tanto, después de haber probado con varios valores, se ha fijado que la distancia máxima será de 25 metros.

5.1.3. Filtrado por dimensiones del obstáculo

Este filtro es especialmente importante en este sistema, ya que establece el tamaño mínimo que ha de tener un obstáculo para ser considerado como un grupo de peatones. Un obstáculo cuyo ancho o cuya profundidad supere los 0,7 metros será tenido en cuenta como un grupo de peatones y por tanto, será procesado por la función de detección.

Se toma el mismo valor para ambas dimensiones ya que son varias las posiciones en que dos peatones pueden ser detectados.

5.1.4. Resumen de los valores de filtrado

En la tabla 4 aparecen todos los valores utilizados para filtrar los obstáculos detectados.

Dimensión	Valor mínimo	Valor máximo
Altura de la región de interés	65 píxeles	240 píxeles
Ancho de la región de interés	45 píxeles	150 píxeles
Distancia del vehículo al obstáculo	2 metros	25 metros
Ancho del obstáculo	0,7 metros	-
Profundidad del obstáculo	0,7 metros	-

Tabla 4. Valores de filtrado de obstáculos.

5.2. Determinación de los parámetros de la función de detección

A continuación se analizarán los resultados obtenidos al asignar diferentes valores a los parámetros `hit_threshold` y `group_threshold` y se determinará cuáles son los más adecuados.

5.2.1. Análisis del parámetro `group_threshold`

Como se explicó en el anterior capítulo, este parámetro regula la agrupación de los rectángulos que cubren una zona similar y tienen un tamaño similar. Por defecto, el valor que se le asigna es 2, aunque, tras las primeras pruebas, se comprobó que de cara a conseguir una detección de peatones situados en áreas muy próximas, sería conveniente reducirlo. Este parámetro sólo acepta valores enteros, por lo que se realizaron pruebas con 2, 1 y 0 a lo largo de 500 imágenes manteniendo invariables el resto de parámetros. En la figura 18 se puede observar el número de detecciones por secuencia, en aquellas secuencias en las que al menos hubo un resultado positivo para cualquiera de los 3 valores probados.

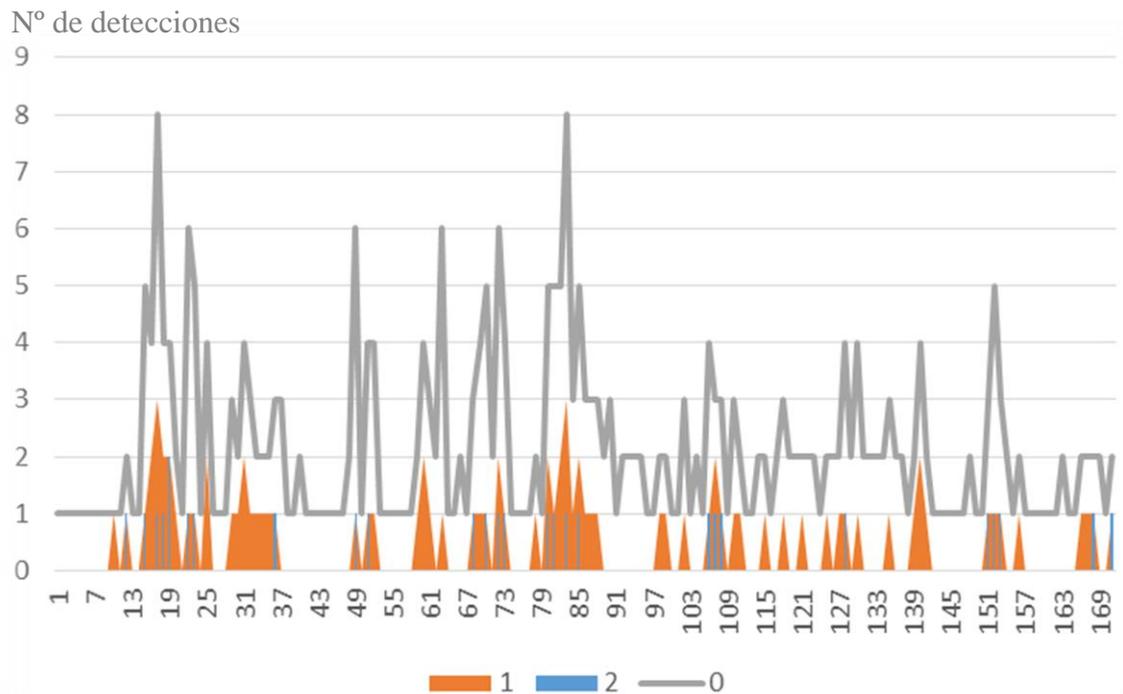


Figura 18. Análisis del parámetro `group_threshold`.

Como se ha podido observar, para un valor de agrupamiento de 2, sólo se producen detecciones en situaciones aisladas y además en la mayoría de casos el número de positivos no es superior a 1. Para un valor de `group_threshold` de 0 ocurre lo contrario; se producen muchos falsos positivos y en muchas ocasiones, se utiliza más de un rectángulo para cubrir a un mismo peatón.

Por tanto, cuando el parámetro de agrupamiento toma un valor de 1 se obtienen los mejores resultados. El número de falsos positivos es contenido, mientras que las detecciones se realizan de forma aceptable, señalando al menos un peatón cuando hay un grupo presente.

Tras realizar este análisis se ha determinado que el valor más adecuado para el parámetro `group_threshold` es 1 y será el utilizado para las pruebas detalladas a continuación.

5.2.2. Análisis del parámetro `hit_threshold`

Este parámetro controla la sensibilidad del detector y su valor por defecto es 0. Como los resultados obtenidos con esta configuración no son del todo satisfactorios, se han realizado pruebas con otros valores inferiores para intentar obtener un mayor número de detecciones. Este parámetro admite números decimales, así que se han realizado pruebas con 0, -0'5, -1 y -1'5 a lo largo de 400 imágenes sin variar el resto de parámetros. En la figura 19 se puede observar el número de detecciones por secuencia, en aquellas secuencias en las que al menos hubo un resultado positivo para cualquiera de los 4 valores probados.

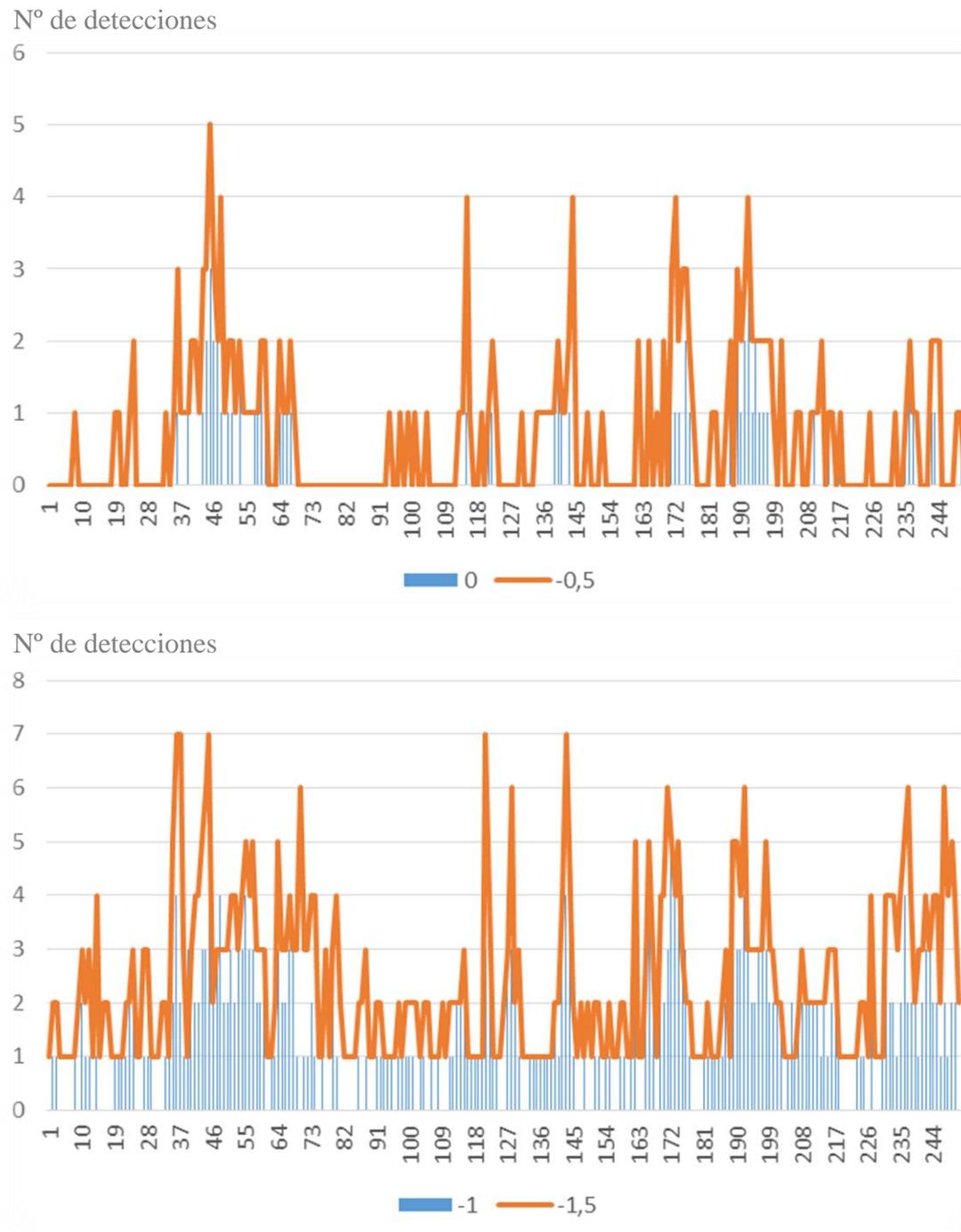


Figura 19. Análisis del parámetro `hit_threshold`.

Como se puede observar, mientras que para un valor de 0, el número de detecciones es demasiado bajo, para un valor de -1'5 se producen demasiados falsos positivos.

Es para los valores de -0'5 y -1 cuando se obtienen los mejores resultados, aunque en el primer caso el número de detecciones sigue siendo ligeramente bajo y en el segundo siguen produciéndose más falsos positivos de los deseados.



Por tanto, teniendo esto en cuenta y tras analizar en profundidad los datos, se ha determinado que el valor más adecuado para este parámetro es 0'75.

5.4. Resultados

El sistema de detección es capaz de funcionar en tiempo real y tiene una alta efectividad con la configuración detallada previamente, incluso en un entorno urbano con una gran cantidad de información visual. Los resultados obtenidos son generalmente satisfactorios, aunque serían necesarias secuencias capturadas específicamente para evaluar su funcionamiento con más profundidad.

En las imágenes utilizadas, en la mayoría de los casos sólo aparecen grupos de dos personas y, en algunos casos, estas aparecen superpuestas en las capturas de la cámara. En este tipo de situaciones el sistema detecta la presencia de un grupo de peatones, aunque sólo es capaz de señalar uno de ellos.

En entornos urbanos, como los de las secuencias utilizadas para el desarrollo, se pueden producir falsos positivos en determinadas situaciones. En la mayoría de los casos consiste en un peatón pasando al lado de una señal, lo que hace que sea detectado como un obstáculo mayor y por tanto sea detectado por la función detectMultiScale.

En el siguiente capítulo se tratarán las conclusiones y los posibles trabajos futuros a realizar.



Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros



6.1. Conclusiones

Se ha demostrado que es posible realizar un sistema de detección de grupos de peatones mediante la fusión de los datos recopilados por una cámara y un telémetro láser.

Se ha comprobado que mediante la fusión sensorial se gana en eficiencia, al filtrar información innecesaria, y en eficacia, al detectar con mayor precisión a los grupos de peatones. Gracias a esto, la aplicación creada es capaz de proporcionar respuestas en tiempo real de forma gráfica.

Para conseguir los resultados de este proyecto, se ha tenido que recurrir a trabajos previos englobados dentro del mismo proyecto global del vehículo inteligente IVVI 2.0, y a otros desarrollos de programación, como la librería OpenCV.

Al mismo tiempo, se ha contribuido al desarrollo de un sistema de seguridad válido para incluirlo en el futuro en vehículos de serie, sistema que puede ser muy útil en la seguridad vial ayudando a reducir las víctimas ocasionadas por atropellos.

6.2. Trabajos futuros

A continuación se detallan algunos de los posibles trabajos que se podrían llevar a cabo en un futuro:

- Integración en vehículo IVVI 2.0. Integrar de una forma completa el presente proyecto dentro del proyecto global del vehículo inteligente.
- Integrar la visión estéreo en este sistema. Con ello se mejoraría la precisión y la eficacia de las detecciones.
- Mejorar la aplicación con el fin de realizar un seguimiento de los grupos de peatones detectados.



Capítulo 7. Presupuesto

7.1. Introducción

En este capítulo se detallará el presupuesto necesario para poder implementar el sistema de detección de grupos de peatones, detallando los costes según su procedencia. Como algunos de los dispositivos utilizados son compartidos con otros sistemas incorporados al vehículo inteligente IVVI 2.0, el coste relativo del presente sistema podría ser algo inferior.

7.2. Coste de material

En este apartado se incluye el coste de los equipos y el software utilizados para el desarrollo del sistema de detección. En la tabla 5 se detalla el coste de cada elemento, sin incluir el vehículo de pruebas.

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
Portátil Dell Inspiron 15R	700€	1 ud.	700€
Telómetro láser Sick LMS 291-S05	3.500€	1 ud.	3.500€
Convertor serie-USB	15€	1 ud.	15€
Cámara Point Grey Bumblebee 2	1.500€	1 ud.	1.500€
Pantalla Xenarc 7"	256€	1 ud.	256€
Microsoft Visual Studio 2008 Express Edition	Licencia gratuita	1 ud.	0€
Microsoft Office 2007	200€	1 ud.	200€
TOTAL			6.171€

Tabla 5. Coste del material utilizado.

7.3. Coste de personal

En esta sección se incluye el coste del personal involucrado en el desarrollo del proyecto durante el tiempo de desarrollo del mismo. Se puede ver en la tabla 6.

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Importe
Graduado en Ingeniería Industrial	1800€	5 meses	9.000€
TOTAL			9.000€

Tabla 6. Coste del personal involucrado en el proyecto.



7.4. Presupuesto total

El importe total del desarrollo del sistema de detección de grupos de peatones asciende a la cantidad indicada en la tabla 7.

Concepto	Importe
Coste de material	6.171€
Coste de personal	9.000€
TOTAL	15.171€

Tabla 7. Coste total del proyecto.



Capítulo 8. Bibliografía



- Dirección General de Tráfico, Anuario estadístico de accidentes 2011. http://www.dgt.es/portal/es/seguridad_vial/estadistica/publicaciones/anuario_estadistico/.
- Dirección General de Tráfico, Accidentes de tráfico en zona urbana en España 2010. http://www.dgt.es/portal/es/seguridad_vial/estadistica/publicaciones/accidentes_urbana/.
- J. J. Anaya, Fusión de escáner láser y cámara de infrarrojos para la detección y seguimiento de trayectoria de peatones, 2011.
- P. Esteban, Sistema de detección y emisión de alertas para evitar colisiones con peatones, 2011.
- J. M. Beato, Fusión sensorial para detección de adelantamientos de vehículos, 2012.
- Km77.com, Glosario, 2011. <http://www.km77.com/>.
- Universidad Carlos III de Madrid, IVVI 2.0, 2010. http://www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_ing_sistemas_automatica/investigacion/lab_sist_inteligentes/sis_int_transporte/vehiculos/IvvI20/.
- Audi, Tecnologías eficientes, Sistema de iluminación, 2013. http://www.audi.es/es/brand/es/Efficiency/efficiency_technologies/light_systems.html.
- Audi, Tecnologías eficientes, Sistema de asistencia, 2013. http://www.audi.es/es/brand/es/Efficiency/efficiency_technologies/assistance_systems.html.
- Wikipedia, OpenCV, 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenCV>.
- Point Grey, Bumblebee2, 2013. <http://www.ptgrey.com/stereo-vision/bumblebee-2>.

